Transports Canada
Transport Canada
Développement
Development
Canada

87-01024/

Rapport final

TP 6220F

préparé pour le
Centre de développement des transports
Transports Canada
par
Jouko A. Parviainen
JOUKO A. PARVIAINEN & ASSOCIATES
et
Walter M. Dunn, Jr.
DUNN ENGINEERING, P.C.

SYSTÈMES DE GESTION D'AUTOROUTES VISANT À MAXIMISER LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE ET L'EFFICACITÉ DES TRANSPORTS ROUTIERS

GUIDE DE PLANIFICATION

Septembre 1986

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985

En vente au Canada par l'entremise des

Librairies associées
et autres libraires

ou par la poste auprès du :

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, Canada K1A 0S9

N° de catalogue : T48-22/1986F
ISBN 0-660-91729-7

au Canada : 13,00 $
à l'étranger : 15,60 $

Prix sujet à changement sans préavis

Also available in English under the title :
"Freeway Management Systems for
Transportation Efficiency and Energy Conservation", TP 6220E.

ÉQUIPE DE RECHERCHE

Jouko A. Parviainen, Ing.
JOUKO A. PARVIAINEN & ASSOCIATES

Walter M. Dunn, Jr. Ing.
Joy Walker
DUNN ENGINEERING, P.C.

Douglas G. Miller
SYNERGISTICS CONSULTING LIMITED

Eugene A. Smaller
Lynda A.V. Wilson
BELBIN + MINERS TYPOGRAPHY LIMITED

Les opinions et les vues exprimées
dans ce rapport sont celles des auteurs
et ne reflètent pas nécessairement
celles du Centre de développement
des transports, Transports Canada.

FORMULE DE DOCUMENTATION POUR RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada	2. N° de l'étude — CDT	3. N° de catalogue du destinataire
TP 6220F	6084	

4. Titre et sous-titre	5. Date du rapport
Systèmes de gestion d'autoroutes visant à maximiser les économies d'énergie et l'efficacité des transports routiers — Guide de planification	*Septembre 1985*
	6. N° du rapport de l'organisme exécutant

7. Auteur(s)	8. N° de dossier Transports Canada
Jouko A. Parviainen (Parviainen & Associates) *Walter M. Dunn, Jr. (Dunn Engineering, P.C.)*	*D 1465-426*

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant	10. N° de dossier — ASC
Jouko A. Parviainen & Associates *1125 Linbrook Road* *Oakville, Ontario* *L6J 2L3*	*11SD.T8200-3-3550*
	11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada *OSD84-00028*

12. Nom et adresse de l'organisme parrain	13. Genre de rapport et période visée
Centre de développement des transports (CDT) *200 ouest, boul. Dorchester, Suite 601, Tour ouest* *Montréal, Québec* *H2Z 1X4*	14. Code de l'organisme parrain

15. Remarques additionnelles	16. Agent de projet — CDT
Voir à l'intérieur de la couverture arrière la liste des documents publiés dans cette série.	*Catherine Hirou*

17. Résumé

Le présent guide a été rédigé à l'intention des planificateurs et des ingénieurs responsables de la planification, de la conception et de l'implantation des systèmes de gestion des autoroutes. Il traite de diverses techniques de gestion, notamment :

- *la détection et la vérification d'incidents routiers et l'intervention d'urgence;*
- *l'information des usagers : signaux à indications variables, communications par radio ou par un équipement spécial à bord des véhicules, préparation d'itinéraires;*
- *le détournement des usagers;*
- *les voies réservées aux véhicules à taux d'occupation élevé;*
- *les systèmes centralisés de communication et de commande assistés par ordinateur;*

En plus d'une description générale de chaque technique de gestion, le guide fournit :

- *les divers systèmes applicables, ainsi que les avantages et les inconvénients inhérents à chacun;*
- *les équipements nécessaires à leur mise en oeuvre;*
- *une ventilation et une estimation approximative des coûts;*
- *des critères d'applicabilité.*

Ce guide de planification contient également une méthode d'évaluation des diverses techniques de gestion des autoroutes pour aider à choisir la solution la mieux adaptée aux conditions particulières d'exploitation. Cette méthode permet de mesurer l'efficacité de chaque technique en termes d'écoulement du trafic, de rentabilité et d'économie des ressources naturelles. Enfin, ce guide souligne les éléments de planification et de coordination indispensables à la réussite de l'opération.

18. Mots-clés	19. Diffusion
Gestion, technique de la circulation, grandes routes, autoroutes, embouteillages, accidents routiers, déviation, voies réservées aux autobus, covoiturage, signalisation, système informatique, communication.	*Disponible auprès du Centre d'édition du gouvernement du Canada de Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, Ontario, K1A 0S9, des Librairies associées et autres libraires.*

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Nombre de pages	23. Prix
non classifié	*non classifiée*	*157*	*au Canada: 13,00 $* *à l'étranger: 15,60 $*

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 6220F	*6084*	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Systèmes de gestion d'autoroutes visant à maximiser les économies d'énergie et l'efficacité des transports routiers — Guide de planification	*September 1985*
	6. Performing Organization Report No.

7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
Jouko A. Parviainen (Jouko A. Parviainen & Associates) *Walter M. Dunn, Jr. (Dunn Engineering, P.C.)*	*D 1465-426*

9. Performing Organization Name and Address	10. DSS File No.
Jouko A. Parviainen & Associates *1125 Linbrook Road* *Oakville, Ontario* *L6J 2L3*	*11SD.T8200-3-3550*
	11. DSS or Transport Canada Contract No. *OSD84-00028*

12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Report and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) *200 Dorchester Blvd. West, Suite 601, West Tower* *Montreal, Quebec* *H2Z 1X4*	14. Sponsoring Agency Code

15. Supplementary Notes	16. TDC Project Officer
See inside back cover for other titles available in this series.	*Catherine Hirou*

17. Abstract

This planning guide has been developed for transportation planners and traffic engineers, at the working and research levels, who are responsible for initiating, designing and implementing freeway management systems.

The guide includes summaries of a wide range of freeway management techniques:

- *incident management: detection/verification/response*
- *driver information: changeable message signs/highway advisory radio/in-vehicle guidance/trip planning*
- *alternative routing*
- *preferential treatment of high-occupancy vehicles*
- *centralized computer control and communications systems.*

For each technique, the guide includes — in addition to a general description:

- *specific systems available: their advantages and disadvantages*
- *equipment used*
- *cost components and rough cost estimates*
- *application criteria.*

The planning guide also includes a recommended evaluation process by which users can select freeway management techniques best suited to local travel demand and road management circumstances. The evaluation process includes specific measures of effectiveness to rate the performance of each technique in relation to the goals and objectives of improved traffic flow and conservation of financial and natural resources. Planning and coordination requirements for successful implementation are also outlined.

18. Key Words	19. Distribution Statement
Management, engineering, highway, freeway, traffic, congestion, accidents, alternative routing, bus lanes, carpools, high-occupancy vehicles, signs, computer, communication.	*Available from Canadian Government Publishing Centre, Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario, K1A 0S9, associated bookstores and other sellers.*

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	*Unclassified*	*157*	*Canada: $13.00* *Other: $15.60*

TDC/CDT 79-005

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à exprimer leur gratitude aux membres du comité de direction pour leur aide et leurs précieux conseils. Voici la liste des personnes concernées :

S. Ling Suen (Présidente)	Centre de développement des transports, TC
Catherine Hirou	Centre de développement des transports, TC
Ian F. Gilbert	Programme R&D énergétiques, Transports Canada
Peter Reilly-Roe	Énergie, Mines et Ressources Canada
Jan H. Van Der Veen	Énergie, Mines et Ressources Canada
Carole M. Laubert	Énergie, Mines et Ressources Canada
Allan R. Doherty	Énergie, Mines et Ressources Canada
John B.L. Robinson	Association des routes et transports du Canada
Pierre La Fontaine	Ministère des Transports, Québec
Serge M. Montagne	Ministère des Transports, Québec
Jean-Michel Salvador	Ministère des Transports, Québec
Jean-Claude Larrivée	Ministère des Transports, Québec
Marcel Mercier	Ministère des Transports, Québec
Tam Phuoc Nguyen	Ministère des Transports, Québec
Sandra Sultana	Ministère des Transports, Québec
Richard Vézina	Ville de Montréal
Réjean Denoncourt	Ville de Montréal
Milton D. Harmelink	Ministère des Transports et des Communications, Ontario
E. Ryerson Case	Ministère des Transports et des Communications, Ontario
Leon Root	Alberta Transportation
Stephen H. Reynolds	Ministry of Transportation and Highways, Colombie-Britannique

Les auteurs tiennent également à remercier les personnes suivantes, de même que leur personnel : Gilles Lussier (Québec), Richard Bouchard et Bernard Roy (Québec), Colin Rayman et Peter Korpal (Ontario), David Richardson, Leslie Kelman et Richard Gordon (Toronto), Bruce McKeown, Lorne Holowachuk et Gordon MacKay (C.-B.), Ron Rice (EXPO 86), ainsi que Lawrence Powers et Dan Rosen (FHWA-US DOT).

Cette étude a été réalisée en vertu du marché T8200-3-3550 du ministère des Approvisionnements et Services (MAS), conclu le 17 mai 1984 et qui faisait suite à une proposition présentée en réponse à l'appel d'offres 17/T00-SV-2-3001 du MAS. Le financement de cette étude a été assuré à même les crédits de Transports Canada au titre du programme fédéral de recherche et de développement énergétiques.

TABLE DES MATIÈRES

Section		Page
1.	**INTRODUCTION**	1
1.1	Transports routiers et économies d'énergie	1
1.2	Programme fédéral	2
1.3	Guide de planification	2
2.	**JUSTIFICATION DE LA GESTION DES AUTOROUTES**	5
2.1	Nécessité d'améliorer le réseau d'autoroutes en fonction des besoins locaux	5
2.2	Interventions à l'échelle nationale	7
2.3	Justification de la gestion des autoroutes	7
2.4	Gestion des autoroutes : objectif — économie d'énergie	10
3.	**STRATÉGIES DE GESTION ENVISAGEABLES**	13
3.1	Introduction	13
3.2	Classification des systèmes de gestion	13
3.3	Opérations corridor et opérations réseau	16
3.4	Systèmes de gestion intégrés	16
3.5	Ensembles de techniques complémentaires	17
3.6	Stratégies de gestion envisageables	17
4.	**DÉTECTION D'INCIDENTS**	23
4.1	Principes	23
4.2	Techniques	24
4.3	Équipements	26
4.4	Coûts	27
4.5	Critères de choix	27
5.	**CONFIRMATION D'INCIDENTS**	29
5.1	Principes	29
5.2	Techniques	29
5.3	Équipements	32
5.4	Coûts	32
5.5	Critères de choix	33
6.	**INTERVENTION/DÉPANNAGE**	35
6.1	Principes	35
6.2	Techniques	35
6.3	Équipements	39
6.4	Coûts	40
6.5	Critères de choix	41
7.	**SURVEILLANCE DES PONTS ET TUNNELS**	43
7.1	Principes	43
7.2	Techniques	43
7.3	Équipements	47
7.4	Coûts	48
7.5	Critères de choix	49

TABLE DES MATIÈRES (suite)

8.	**RÉGULATION DES ACCÈS**		51
	8.1	Principes	51
	8.2	Techniques	51
	8.3	Équipements	53
	8.4	Coûts	54
	8.5	Critères de choix	54
9.	**PRIORITÉ AUX VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ**		57
	9.1	Principes	57
	9.2	Techniques	58
	9.3	Équipements	67
	9.4	Coûts	68
	9.5	Critères de choix	68
10.	**SIGNALISATION D'INFORMATION**		71
	10.1	Principes	71
	10.2	Techniques	73
	10.3	Équipements	78
	10.4	Coûts	79
	10.5	Critères de choix	82
11.	**RADIOGUIDAGE ROUTIER**		83
	11.1	Principes	83
	11.2	Techniques	84
	11.3	Équipements	87
	11.4	Coûts	87
	11.5	Critères de choix	89
12.	**GUIDAGE ROUTIER EMBARQUÉ**		91
	12.1	Principes	91
	12.2	Techniques	92
	12.3	Équipements	94
	12.4	Coûts	95
	12.5	Critères de choix	95
13.	**PLANIFICATION DES DÉPLACEMENTS**		97
	13.1	Principes	97
	13.2	Techniques	97
	13.3	Équipements	100
	13.4	Coûts	102
	13.5	Critères de choix	102
14.	**RÉGULATION DES ARTÈRES**		105
	14.1	Principes	105
	14.2	Techniques	105
	14.3	Équipements	107
	14.4	Coûts	108
	14.5	Critères de choix	108

TABLE DES MATIÈRES (suite)

15.	**RÉSEAU DE COMMUNICATION**		111
	15.1	Principes	111
	15.2	Techniques	111
	15.3	Équipements	118
	15.4	Coûts	119
	15.5	Critères de choix	119
16.	**CENTRE DE RÉGULATION**		121
	16.1	Principes	121
	16.2	Techniques	121
	16.3	Équipements	122
	16.4	Coûts	125
	16.5	Critères de choix	125
17.	**IMPLANTATION D'UN SYSTÈME DE GESTION D'AUTOROUTES**		127
	17.1	Étapes	127
	17.2	Participation	128
	17.3	Programmes de soutien nécessaires	132
18.	**ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE GESTION D'AUTOROUTES**		133
	18.1	Techniques d'évaluation	133
	18.2	Indicateurs d'efficacité généraux	134
	18.3	Études d'impact des aménagements	140

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1a	**Introduction**	1
Figure 2a	**Justification de la gestion des autoroutes**	5
Figure 2b	Objectifs visés par la gestion des autoroutes	6
Figure 2c	Solutions possibles aux problèmes de circulation	8
Figure 2d	Réduction de la capacité du Gulf Freeway due à l'obstruction de certaines voies	8
Figure 2e	Effets d'un incident sur une autoroute de Los Angeles en Californie	9
Figure 2f	Objectifs visés par la gestion des autoroutes et moyens envisagés pour y parvenir	11
Figure 2g	Consommation de carburant à vitesse constante — Véhicules légers	12
Figure 2h	Consommation supplémentaire de carburant attribuable aux changements de vitesse — Véhicules légers	12
Figure 3a	**Stratégies de gestion envisageables**	13
Figure 3b	Facteurs à prendre en compte dans l'étude d'un projet	14
Figure 3c	Systèmes de gestion d'autoroutes — Classement selon la technique utilisée	15
Figure 3d	Systèmes de gestion d'autoroutes — Classement selon le genre d'infrastructure routière visée	15
Figure 3e	Systèmes de traitement des incidents sur autoroutes — Techniques à faible coût	18
Figure 3f	Ensembles de techniques complémentaires	19
Figure 3g	Matrice de sélection des stratégies, actions et techniques de gestion d'autoroutes	20-21
Figure 4a	**Détection d'incidents**	23
Figure 4b	Détecteurs à boucle d'induction	24
Figure 4c	Voiture de patrouille de la police	24
Figure 4d	Surveillance aérienne	25
Figure 4e	Poste radio BP	25
Figure 4f	Téléphone d'appel d'urgence	26
Figure 4g	Borne d'appel d'urgence	26
Figure 4h	Critères de choix des systèmes de détection d'incidents	28
Figure 5a	**Confirmation d'incidents**	29
Figure 5b	Caméra de télévision en circuit fermé	30
Figure 5c	Poste de contrôle des communications radio en BP	30
Figure 5d	Patrouille de police	30
Figure 5e	Avantages et inconvénients de la vérification d'incidents par télévision	31
Figure 5f	Avantages et inconvénients de la vérification d'incidents par contrôle à distance des communications radio en BP	31
Figure 5g	Avantages et inconvénients de la vérification d'incidents par patrouilles de police	31
Figure 5h	Coûts des systèmes de vérification d'incidents	32
Figure 5i	Critères de choix des systèmes de vérification d'incidents	33

LISTE DES FIGURES (suite)

Figure 6a	**Intervention/dépannage**	35
Figure 6b	Patrouille de secours routier	36
Figure 6c	Avantages et inconvénients de patrouilles de secours routier	36
Figure 6d	Voiture de police dégageant la voie	37
Figure 6e	Avantages et inconvénients des voitures de police	37
Figure 6f	Dépanneuse	37
Figure 6g	Avantages et inconvénients des dépanneuses	37
Figure 6h	Véhicule lourd de dépannage	38
Figure 6i	Avantages et inconvénients du matériel lourd de dépannage	38
Figure 6j	Matériel d'intervention	39
Figure 6k	Coûts des moyens d'intervention	40
Figure 6l	Critères de choix des moyens d'intervention	41
Figure 7a	**Surveillance des ponts et tunnels**	43
Figure 7b	Caméra de télévision en circuit fermé	44
Figure 7c	Avantages et inconvénients de la télévision en circuit fermé	44
Figure 7d	Avantages et inconvénients des détecteurs de présence placés à intervalles rapprochés	45
Figure 7e	Cabine de surveillance d'un tunnel	45
Figure 7f	Véhicule circulant sur une passerelle de service	45
Figure 7g	Avantages et inconvénients d'une présence accrue de la police	45
Figure 7h	Véhicule de dépannage	46
Figure 7i	Avantages et inconvénients des véhicules de dépannage	46
Figure 7j	Signaux d'affectation de voies	47
Figure 7k	Panneau de signalisation variable	47
Figure 7l	Avantages et inconvénients de la régulation par voies et de la signalisation variable	47
Figure 7m	Critères de choix des méthodes de surveillance des ponts et tunnels	49
Figure 8a	**Régulation des accès**	51
Figure 8b	Avantages et inconvénients de la régulation à cycle fixe	52
Figure 8c	Avantages et inconvénients de la microrégulation	52
Figure 8d	Avantages et inconvénients de la macrorégulation	53
Figure 8e	Feu de régulation d'accès typique	53
Figure 8f	Signal à feu clignotant	53
Figure 8g	Schéma d'une bretelle d'accès régulée	54
Figure 8h	Coûts approximatifs des systèmes de régulation d'accès	55
Figure 8i	Critères de choix des systèmes de régulation d'accès	55
Figure 9a	**Priorité aux véhicules à taux d'occupation élevé**	57
Figure 9b	Voies spécialement construites pour les véhicules à taux d'occupation élevé	58
Figure 9c	Voie médiane réservée aux véhicules à taux d'occupation élevé	58
Figure 9d	Avantages et inconvénients des voies construites exclusivement pour les véhicules à taux d'occupation élevé	59
Figure 9e	Voie de droite réservée — Dispositions possibles	59

LISTE DES FIGURES (suite)

Figure 9f	Voie de droite réservée — Signalisation et marquage	60
Figure 9g	Voie de gauche réservée — Dispositions possibles	60
Figure 9h	Voie de gauche réservée — Signalisation et marquage	60
Figure 9i	Avantages et inconvénients des voies existantes réservées, dans le sens de la circulation	61
Figure 9j	Voie intérieure à contresens — Dispositions possibles	61
Figure 9k	Voie intérieure à contresens — Signalisation et marquage	61
Figure 9l	Voie intérieure à contresens — Disposition souhaitable	62
Figure 9m	Voie intérieure à contresens — Signaux d'affectation de voies	62
Figure 9n	Avantages et inconvénients de voies existantes réservées, à contresens	62
Figure 9o	Priorité sur les bretelles — Dispositions possibles	63
Figure 9p	Bretelles avec voie non régulée	63
Figure 9q	Bretelles à l'usage exclusif des véhicules à taux d'occupation élevé	63
Figure 9r	Priorité sur les bretelles — Signalisation et marquage	64
Figure 9s	Avantages et inconvénients des bretelles à l'usage prioritaire ou exclusif des véhicules à taux d'occupation élevé	64
Figure 9t	Emplacement des stationnements et des arrêts de véhicules de transport en commun — Périphérie d'une zone fortement circulée	65
Figure 9u	Emplacement des stationnements et arrêts des véhicules — Échangeur	65
Figure 9v	Avantages et inconvénients des aires de stationnement réservées en partie ou en totalité aux véhicules à taux d'occupation élevé	65
Figure 9w	Priorité aux feux de circulation — Situation possible	66
Figure 9x	Avantages et inconvénients de la priorité aux feux de circulation	66
Figure 9y	Équipements d'un système de priorité aux véhicules à taux d'occupation élevé	67
Figure 9z	Coûts approximatifs reliés à un système de priorité aux véhicules à taux d'occupation élevé	69
Figure 9zz	Critères de choix des mesures favorisant les véhicules à taux d'occupation élevé	69
Figure 10a	**Signalisation d'information**	71
Figure 10b	Panneau à rideau continu	73
Figure 10c	Avantages et inconvénients des panneaux à rideau continu	74
Figure 10d	Panneau à prismes	73
Figure 10e	Avantages et inconvénients des panneaux à prismes	74
Figure 10f	Panneau à matrices de lampes	75
Figure 10g	Avantages et inconvénients des panneaux à matrices de lampes	75
Figure 10h	Panneau à matrices de disques électromagnétiques	75
Figure 10i	Avantages et inconvénients des panneaux à matrices de disques	76
Figure 10j	Panneau à matrices de volets électrostatiques	77
Figure 10k	Avantages et inconvénients des panneaux à matrices de volets électrostatiques	77
Figure 10l	Panneau à matrices de fibres optiques	78
Figure 10m	Avantages et inconvénients des panneaux à fibres optiques	78
Figure 10n	Analyse comparative des coûts des panneaux à matrices de lampes et des panneaux à matrices de disques	80
Figure 10o	Résumé de l'analyse comparative des coûts des panneaux à matrices de lampes et des panneaux à matrices de disques	81
Figure 10p	Critères de choix des panneaux de signalisation d'information	82

LISTE DES FIGURES (suite)

Figure 11a	**Radioguidage routier**	83
Figure 11b	Antenne à câble rayonnant	84
Figure 11c	Types de câbles rayonnants	85
Figure 11d	Schéma électrique des antennes à câble rayonnant	85
Figure 11e	Avantages et inconvénients des antennes à câble rayonnant	85
Figure 11f	Antenne unipolaire	86
Figure 11g	Schémas d'implantation d'antennes unipolaires	86
Figure 11h	Diagrammes de rayonnement des antennes à câble rayonnant et unipolaires	86
Figure 11i	Avantages et inconvénients des antennes unipolaires	87
Figure 11j	Coûts unitaires approximatifs des systèmes de radioguidage routier	88
Figure 11k	Coûts d'exploitation des systèmes de radioguidage	88
Figure 11l	Critères de choix des antennes de radioguidage	89
Figure 12a	**Guidage routier embarqué**	91
Figure 12b	Éléments d'un système de guidage routier	92
Figure 12c	Écran de visualisation à bord d'un véhicule	92
Figure 12d	Instructions de virage sur un navigateur électronique	93
Figure 12e	Itinéraire recommandé	93
Figure 12f	Critères de choix des systèmes de guidage routier embarqués	96
Figure 13a	**Planification des déplacements**	97
Figure 13b	Service d'information téléphonique	98
Figure 13c	Affichage dans un stade	99
Figure 13d	Information télévisée	99
Figure 13e	Affichage à la sortie d'un garage	100
Figure 13f	Éléments des systèmes d'information visant la planification des déplacements	101
Figure 13g	Coûts des équipements	102
Figure 13h	Critères de choix des systèmes d'information visant la planification des déplacements	103
Figure 14a	**Régulation des artères**	105
Figure 14b	Systèmes de régulation hiérarchisée	106
Figure 14c	Avantages et inconvénients de la régulation hiérarchisée	106
Figure 14d	Système de régulation centralisée	107
Figure 14e	Avantages et inconvénients de la régulation centralisée	107
Figure 14f	Coûts approximatifs des systèmes de régulation des artères	109
Figure 14g	Critères de choix des systèmes de régulation des artères	109
Figure 15a	**Réseau de communication**	111
Figure 15b	Avantages et inconvénients des câbles à paires torsadées	112
Figure 15c	Avantages et inconvénients des câbles coaxiaux	113
Figure 15d	Avantages et inconvénients des câbles à fibres optiques	113
Figure 15e	Avantages et inconvénients de la communication radio	113

LISTE DES FIGURES (suite)

Figure 15f	Câbles à paires torsadées	114
Figure 15g	Câble coaxial	115
Figure 15h	Câble à fibres optiques	115
Figure 15i	Avantages et inconvénients du multiplexage en fréquence	116
Figure 15j	Avantages et inconvénients du multiplexage temporel	116
Figure 15k	Avantages et inconvénients de la commutation directe	116
Figure 15l	Avantages et inconvénients d'un réseau loué	117
Figure 15m	Avantages et inconvénients d'un réseau implanté par l'organisme gestionnaire de l'autoroute	117
Figure 15n	Éléments d'un réseau de communication	119
Figure 15o	Critères de choix des réseaux de communication	120
Figure 16a	**Centre de régulation**	121
Figure 16b	Ordinateur central et organes périphériques	122
Figure 16c	Écran cathodique	123
Figure 16d	Dérouleur de bande magnétique	123
Figure 16e	Imprimante par ligne rapide	123
Figure 16f	Pupitre de commande	124
Figure 16g	Synoptique	124
Figure 16h	Écran graphique	124
Figure 16i	Coût des équipements du centre de régulation	125
Figure 16j	Critères de choix des équipements du centre de régulation	125
Figure 17a	**Implantation d'un système de gestion d'autoroutes**	127
Figure 17b	Étapes de la réalisation d'un système de gestion d'autoroutes	129
Figure 17c	Organismes et associations susceptibles d'intervenir dans la mise en place d'un système de gestion d'autoroutes au Canada	130
Figure 17d	Organismes et associations susceptibles d'intervenir dans la mise en place d'un système de gestion d'autoroutes aux États-Unis	131
Figure 18a	**Évaluation des systèmes de gestion d'autoroutes**	133
Figure 18b	Indicateurs d'efficacité généraux	136
Figure 18c	Indicateurs d'efficacité axés sur le débit	137
Figure 18d	Indicateurs d'efficacité axés sur le temps de parcours	138–139

1.
INTRODUCTION

Figure 1a

1.1 Transports routiers et économies d'énergie

Depuis la crise du pétrole intervenue en 1973-74 et la pénurie de combustibles qu'ont connue les États-Unis en 1979, l'économie de l'énergie est devenue un facteur déterminant dans la prise de décisions et l'élaboration des politiques du Gouvernement canadien. La nécessité d'économiser l'énergie apparaît dans tous les secteurs et principalement dans celui des transports qui compte pour la moitié de la consommation totale de produits pétroliers. Les problèmes énergétiques sont apparus dans une conjoncture économique difficile qui oblige à une utilisation rationnelle de toutes les ressources financières et naturelles, y compris l'énergie sous toutes ses formes.

Une part appréciable des produits pétroliers utilisés par les transports est consommée en zones urbaines et périurbaines et surtout dans les grands corridors de circulation et au coeur des villes. La consommation atteint son point culminant aux heures de pointe et lorsqu'il se produit un incident routier, panne ou accident, la circulation progressant alors difficilement.

Il existe des techniques de gestion du trafic routier qui permettent d'améliorer le débit, de réduire les retards occasionnés aux usagers de la route, de réduire la consommation de carburant et d'atténuer la pollution causée par les véhicules. Ces techniques sont très rentables en comparaison avec l'approche habituelle, laquelle consiste à élargir les routes existantes ou à en construire de nouvelles. Du point de vue énergétique, la gestion du trafic routier présente, en plus, l'avantage non négligeable d'éviter la dépense d'énergie indirecte qu'entraîneraient la construction comme l'entretien d'un nouvel ouvrage.

Qui plus est, ces techniques de gestion du trafic routier, qui consistent à optimiser l'exploitation des réseaux existants, n'encouragent pas la multiplication des déplacements, contrairement à la construction d'un nouvel ouvrage en zone urbaine.

En plus d'être rentables et de favoriser l'économie d'énergie, les systèmes de gestion d'autoroutes contribuent à la protection de l'environnement en réduisant la quantité de contaminants émis dans l'atmosphère par les véhicules.

1.2 Programme fédéral

Le Programme énergétique national (PEN) comporte un volet intéressant l'économie d'énergie dans les transports, dont l'un des principaux objectifs est de faire le point sur les techniques de gestion du trafic routier et d'informer les organismes, les ingénieurs, les planificateurs et les décisionnaires concernés par le biais de projets pilotes ou autres formes de démonstration.

Acquis à l'importance d'économiser l'énergie dans les transports, d'une part, et soucieux d'atteindre les objectifs du programme d'économie d'énergie dans ce secteur, d'autre part, le Centre de développement des transports (CDT) de Transports Canada a autorisé et subventionné un projet intitulé : "Systèmes de gestion d'autoroutes visant à maximiser les économies d'énergie et l'efficacité des transports routiers". Ce projet avait été soumis à la suite d'un appel de propositions émis en janvier 1983 par Approvisionnements et Services Canada pour le Programme R et D énergétiques de Transports Canada.

Le but ultime de ce projet est d'augmenter l'efficacité des corridors de circulation dans les grandes régions urbaines du Canada; aussi vise-t-il à recueillir des informations sur les divers systèmes de gestion d'autoroutes actuellement en exploitation et de les présenter de façon à promouvoir l'étude et l'implantation de systèmes semblables au Canada.

1.3 Guide de planification

Rapports

Le présent "Guide de planification" est l'un des quatre rapports présentés au cours de la première phase du projet intitulé : "Systèmes de gestion d'autoroutes visant à maximiser les économies d'énergie et l'efficacité des transports routiers". L'objet de chacun des rapports est présenté sommairement ci-dessous.

- Résumés de projets américains et européens — le point sur les principaux systèmes de gestion d'autoroutes en voie d'implantation ou en exploitation dans divers pays d'Europe et d'Amérique du Nord.
- Répertoire des principaux ouvrages de référence — une bibliographie sélective répertoriant les documents techniques jugés des plus utiles pour les ingénieurs de trafic routier qui veulent analyser le sujet et se documenter plus à fond sur les systèmes existants.
- Guide de planification — conçu à l'intention des ingénieurs de trafic routier et des planificateurs en transports responsables de la planification, de la conception et de l'implantation de systèmes de gestion d'autoroutes.
- Aperçu général — une description des divers systèmes et techniques de gestion d'autoroutes et de leurs applications, à l'intention des cadres supérieurs et décisionnaires des organisations intéressées.

Auditoire visé

Le présent Guide de planification a été rédigé principalement à l'intention des ingénieurs de trafic routier qui seront chargés de l'étude, de la conception et de l'implantation de systèmes de gestion d'autoroutes. Toutefois, il s'adresse également aux planificateurs en transports routiers que la question intéresse.

Il ne s'agit pas d'un livre de recettes, ni d'un manuel pour la conception de systèmes de gestion d'autoroutes. Ce guide ne contient pas non plus toutes les données techniques nécessaires en vue de construire et d'exploiter de tels systèmes, mais plutôt les données dont les ingénieurs auront besoin pour prendre les premières décisions concernant la planification, la conception et l'implantation des diverses techniques composant un système typique de gestion d'autoroutes.

Ce document a été conçu en vue de fournir aux ingénieurs de trafic routier les données qui leur permettront de bien comprendre et d'évaluer les diverses techniques de gestion d'autoroutes. Il décrit ces techniques, présente les avantages et les inconvénients propres à chacune ainsi que les coûts et les applications possibles et définit un certain nombre de critères de choix. Son but est de permettre aux ingénieurs de choisir le système le plus approprié dans chaque cas particulier.

Contenu

Le présent document comprend les grandes subdivisions énumérées ci-dessous :

- Introduction **(chapitre 1)**
- Justification de la gestion d'autoroutes **(chapitre 2)**
- Stratégies de gestion envisageables **(chapitre 3)**
- Techniques de gestion d'autoroutes **(chapitres 4 à 16)**
- Implantation d'un système de gestion d'autoroutes **(chapitre 17)**
- Évaluation des systèmes de gestion d'autoroutes **(chapitre 18)**

Le chapitre 2 expose les raisons pour lesquelles il est avantageux de doter les autoroutes urbaines et périurbaines de systèmes de gestion du trafic. Le plus souvent, on a recours aux systèmes de gestion au lieu (ou en plus) de construire de nouvelles voies de circulation, lesquelles ne peuvent, à elles seules, résoudre complètement ou durablement le problème des encombrements tant périodiques que sporadiques. Les principaux objectifs visés par la gestion des autoroutes y sont définis, ainsi que les moyens envisagés pour les atteindre.

Le chapitre 3 présente une classification des divers types de systèmes de gestion existants et indique les solutions à faible coût aisément réalisables. On y propose divers ensembles de techniques complémentaires se prêtant à une implantation rapide et à petite échelle tout en maximisant l'impact sur l'ensemble du réseau visé. Enfin, l'auteur y souligne l'importance de choisir un système intégré dont tous les éléments concourent au même but et se complètent les uns les autres.

Les chapitres 4 à 16 renseignent sur les diverses techniques de gestion du trafic routier qui peuvent être appliquées individuellement ou en système. Ils contiennent notamment :

1. la description des diverses techniques de gestion;
2. les diverses modalités d'application de ces techniques de gestion ainsi que les avantages et les inconvénients propres à chacune;
3. les équipements à mettre en place dans chaque cas;
4. une ventilation des coûts reliés à chaque technique de gestion (à considérer comme ordre de grandeur — une estimation devant être faite en fonction de chaque cas particulier);
5. des critères de choix pour déterminer lesquels parmi les divers systèmes ou techniques en présence conviennent le mieux dans l'application particulière envisagée.

Le chapitre 17 définit les principales étapes à suivre dans la sélection, l'implantation, l'exploitation et l'entretien d'un système de gestion d'autoroute.

Le chapitre 18 définit des critères d'évaluation permettant de mesurer les avantages obtenus grâce au système de gestion implanté. Il est entendu que le processus d'évaluation repose sur des études comparant la situation avant et après l'implantation ainsi que sur le contrôle suivi des performances des divers éléments constitutifs du système aussi bien que du système pris dans son ensemble. Le processus d'évaluation utilise notamment :

a) des tableaux comparant les avantages et les inconvénients des techniques ou systèmes de gestion en présence;

b) des tableaux résumant les critères de sélection;

c) des cotes de performance;

d) des tableaux de cotation pondérée;

e) des méthodes d'analyse des rapports avantages-coûts.

2.
JUSTIFICATION DE LA GESTION DES AUTOROUTES

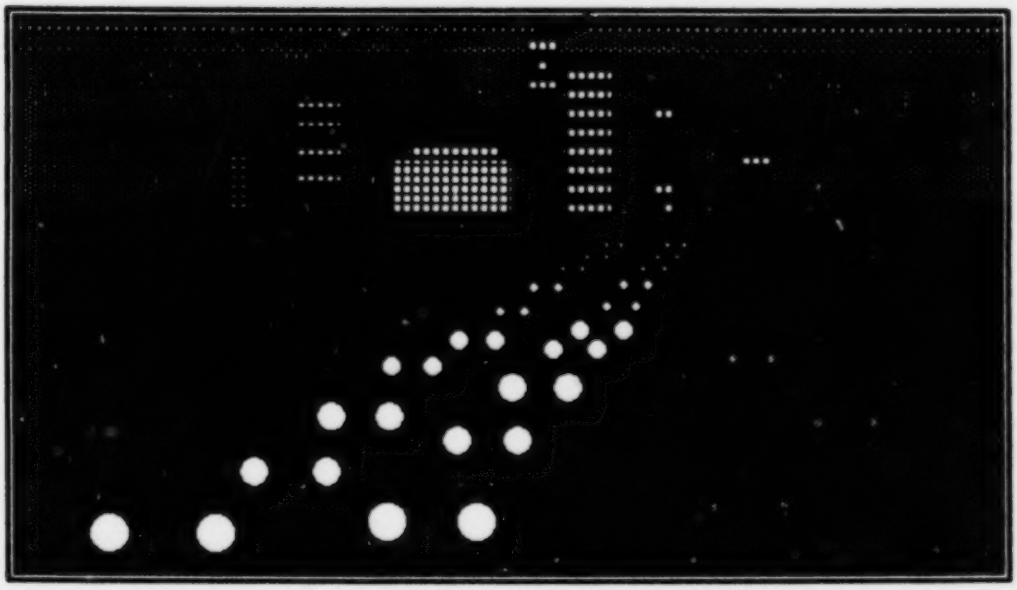


Figure 2a

2.1 Nécessité d'améliorer le réseau d'autoroutes

Depuis une dizaine d'années, les planificateurs des transports routiers, les milieux politiques et le grand public prennent de plus en plus conscience des problèmes d'énergie reliés aux transports, lesquels se manifestent avec la plus grande acuité dans les principaux corridors de circulation et dans les centres d'activité des grandes villes. L'amélioration des réseaux autoroutiers est une préoccupation constante des planificateurs qui, dans leur recherche de solutions, doivent tenir compte de quatre grandes contraintes :

1. trafic : réduire les encombrements, accroître l'accessibilité (réduire les temps de parcours ou, du moins, les rendre plus prévisibles), augmenter le confort et la sécurité des usagers;
2. énergie : réduire la consommation directe et indirecte d'énergie;
3. environnement : atténuer la pollution atmosphérique et réduire la consommation de matières premières;
4. ressources financières : éviter les nouvelles dépenses d'immobilisation ou les reporter à plus tard, et obtenir le rendement maximal des capitaux consentis.

Cette dernière contrainte a pris une importance particulière au cours des dernières années, les transports étant en forte concurrence avec d'autres secteurs (notamment : le logement, la sécurité sociale, la protection contre les incendies et la sécurité publique) dans le partage des fonds publics.

La figure 2b énumère les moyens à la portée des organismes de planification des transports urbains pour parvenir aux objectifs définis ci-dessus.

Figure 2b

OBJECTIFS VISÉS PAR LA GESTION DES AUTOROUTES

OBJECTIFS	MOYENS ENVISAGÉS
Gestion du trafic	
• Réduire les encombrements	a. Implantation coordonnée de moyens de régulation du trafic b. Réduction de la demande de circulation (véhicules) aux heures de pointe par : — utilisation optimale de la capacité du corridor entier — étalement des périodes de pointe — traitement préférentiel des véhicules à taux d'occupation élevé c. Réduction du temps de détection et de vérification d'incidents ainsi que du délai d'intervention
• Augmenter l'accessibilité	d. Capacité accrue en termes de personnes transportées e. Débit plus prévisible
• Accroître le confort et la sécurité des usagers	f. Fluidité accrue, espacement raisonnable entre les véhicules g. Meilleure signalisation routière et meilleure information des usagers h. Réduction du délai d'intervention
Économie d'énergie	i. Réduction de la consommation directe d'énergie par : — les véhicules circulant sur l'autoroute — les véhicules circulant sur le réseau associé (par ex., les rues du centre-ville et les voies de desserte) j. Économie de l'énergie qui serait consommée pour les travaux de construction et d'entretien d'un nouvel ouvrage (ou de l'équivalent énergétique du bitume entrant dans la composition du revêtement de chaussée)
Protection de l'environnement	k. Atténuation de la pollution atmosphérique en : — évitant les ralentissements et les accélérations répétés — réduisant le nombre de véhicules sans passager l. Consommation réduite de matières premières (par ex., granulat)
Économie de ressources financières	m. Possibilité de reporter et même d'éviter la construction de nouvelles routes grâce à l'utilisation optimale — du réseau parallèle — de l'infrastructure et des services de transport en commun n. Meilleure répartition des fonds entre les divers moyens de gestion, à court et à long terme, fondée sur : — une analyse éclairée des rapports avantages-coûts — l'analyse des conséquences sur l'ensemble du système des diverses mesures de gestion envisagées.

2.2 Interventions à l'échelle nationale

Aux États-Unis, depuis une dizaine d'années, l'administration fédérale cherche, par divers moyens législatifs, à imposer aux États et aux municipalités la mise en oeuvre de certaines mesures visant les objectifs définis ci-dessus. Mentionnons, entre autres :

- la mise en vigueur, en 1975, de règlements préconisant la mise en oeuvre de mesures telles que l'amélioration de la signalisation routière, la priorité aux véhicules à taux d'occupation élevé, la gestion du stationnement, la surveillance des autoroutes, etc.
- la mise en vigueur par la Environmental Protection Agency (EPA) de règlements faisant valoir la nécessité de mettre en place des mesures raisonnables de gestion du trafic routier pour améliorer la qualité de l'environnement et de l'air en particulier. Ont suivi des plans d'action spécifiques permettant aux États de veiller à ce que lesdits règlements soient appliqués de façon uniforme par toutes les administrations municipales.
- la création par la Federal Energy Administration (FEA), en 1975, de programmes d'économie d'énergie exigeant que chaque État mette en place son propre programme d'économie d'énergie prévoyant des mesures applicables spécifiquement au secteur des transports.

Le poids de ces mesures législatives est d'autant plus grand que les moyens de gestion du trafic préconisés sont partout essentiellement les mêmes et correspondent aux problèmes et besoins définis par les organismes d'exploitation des réseaux routiers urbains.

Au Canada, également, le Gouvernement fédéral a fait des efforts dans ce sens. En effet, le Programme énergétique national comporte un volet consacré à l'économie d'énergie dans les transports, préconisant l'implantation de mesures diverses de gestion du trafic.

Certaines provinces et municipalités ont, dans les dix dernières années, ajouté à leurs critères d'évaluation des projets routiers celui de l'économie des ressources sous toutes leurs formes : énergie, environnement, fonds publics. Cette approche a été inspirée dans une certaine mesure par les programmes américains d'économie d'énergie (bien qu'elle ne bénéficie pas du même appui législatif) et a conduit à la mise sur pied de programmes de gestion de l'énergie reliée aux transports (par exemple, le programme ontarien "TEMP" auquel participent le ministère des Transports et des Communications et le ministère de l'Énergie).

Le fait que les moyens de gestion du trafic envisagés aient été si semblables dans les deux pays n'est pas dépourvu d'importance. Au contraire, il a permis quelques fois d'envisager l'essai de techniques de pointe jusque là considérées comme trop audacieuses ou trop difficiles à implanter. On peut maintenant espérer atteindre les objectifs susmentionnés grâce à toute une variété de techniques éprouvées de gestion du trafic sur les autoroutes et leurs réseaux associés.

2.3 Justification de la gestion des autoroutes

Bien que la nécessité d'implanter des mesures de gestion du trafic routier ait été reconnue par divers organismes de planification des transports routiers et que les autorités fédérales aient légiféré et instauré des programmes nationaux en cette matière, un grand nombre d'organismes d'exploitation de réseaux routiers ont tenté de solutionner leurs problèmes de circulation par la seule construction de voies additionnelles ou de nouvelles routes. Ils ont ensuite constaté, à leur grand étonnement, qu'ils étaient toujours aux prises avec les mêmes problèmes. Il appert donc qu'une approche différente s'impose.

Une fois qu'un problème de circulation a été cerné, il faut étudier les diverses solutions possibles. Les solutions le plus souvent envisagées sont énumérées à la figure 2c.

Dans le cas d'une région urbaine où aucune technique de gestion du trafic n'a jamais été implantée, il est fort probable que les planificateurs et ingénieurs des transports auront à fournir de solides arguments, études techniques à l'appui, pour justifier l'implantation de telles mesures. Dans bien des cas, on trouvera l'approche trop audacieuse, ou pleine de promesses peut-être, mais, pour l'avenir. Par contre, plusieurs organis-

mes d'exploitation d'importants réseaux autoroutiers (à Los Angeles, par exemple) qui avaient, mais sans succès, tenté d'augmenter la capacité du réseau par la seule addition d'une nouvelle voie de circulation, obtenue en :

a) élargissant la chaussée existante,

b) refaisant le marquage de façon à réduire la largeur des voies existantes, ou en

c) utilisant l'accotement comme voie de circulation aux heures de pointe,

ont accepté volontiers les techniques de gestion du trafic proposées.

Il faut dire que, en règle générale, un incident routier dans une zone fortement urbanisée a des conséquences graves sur la circulation. À titre d'exemple, on trouvera à la figure 2d dans quel pourcentage la capacité du Gulf Freeway de Houston au Texas (qui présente trois voies dans chaque sens) se trouve réduite lorsque survient un incident. Il est particulièrement intéressant de remarquer l'importante réduction de capacité qui découle de la simple présence sur l'accotement d'un véhicule en panne ou accidenté. La nécessité de gérer la circulation sur les autoroutes de façon à augmenter ou, du moins, à maintenir leur efficacité (même après l'ajout d'une voie de circulation ou la construction d'un nouvel ouvrage) a été reconnue par la plupart des exploitants d'importants réseaux autoroutiers.

Figure 2c

SOLUTIONS POSSIBLES AUX PROBLÈMES DE CIRCULATION

- Aucune intervention spécifique; entretien courant et remises en état périodiques
- Mesures ponctuelles et peu coûteuses de gestion du trafic
- Système de gestion d'autoroute
- Réfection majeure de l'infrastructure
- Extension du réseau : voie de circulation supplémentaire
- Construction d'une nouvelle autoroute

Figure 2d

RÉDUCTION DE LA CAPACITÉ DU GULF FREEWAY DUE À L'OBSTRUCTION DE CERTAINES VOIES

Nombre de voies obstruées	Réduction de la capacité (pourcentage)
Accotement seulement	33%
Une voie	50%
Deux voies	79%

La construction d'une autoroute peut être comparée à celle d'un immeuble de bureaux ou d'installations industrielles, où le constructeur s'engage non seulement à fournir un bâtiment, mais aussi à y installer tout l'équipement technique nécessaire à la mise en exploitation, c'est-à-dire systèmes de chauffage, de ventilation, de climatisation et tout autre équipement nécessaire pour assurer la commodité des lieux ainsi que le confort et la sécurité des usagers.

De même, il faut assurer la gestion des autoroutes urbaines et périurbaines, et cela se fait par :

a) l'implantation ponctuelle d'une technique de gestion destinée à résoudre un problème particulier; ou

b) l'implantation d'un ensemble de techniques de gestion (voies, bretelles d'accès et places de stationnement réservées aux véhicules à taux d'occupation élevé, parcs de dissuasion, etc.) choisies de façon à tirer de leur association le plus grand effet de synergie possible.

On trouvera au chapitre 3, sous la rubrique "Ensembles de techniques complémentaires" (3.5), d'autres arguments à l'appui du concept de gestion des autoroutes. Plusieurs organismes d'exploitation d'autoroutes ont eu recours à des programmes de sensibilisation comprenant la diffusion de brochures spéciales sur la gestion pour faire valoir, auprès des responsables du transport routier et des politiciens, la nécessité d'implanter des systèmes de gestion des autoroutes et les avantages qu'il est possible d'en tirer. Ils ont également utilisé des techniques avancées de simulation pour démontrer aux décisionnaires concernés que les avantages attendus des techniques de gestion proposées sont considérables et accessibles.

La figure 2e représente un tronçon d'autoroute de Los Angeles en Californie. Les cinq voies dans chaque sens offrent une capacité de circulation considérable. Toutefois, l'exemple d'incident illustré témoigne de la nécessité d'assurer une gestion permanente de l'autoroute, indépendamment du nombre de voies qu'elle compte.

Les chapitres 4 à 16 du présent Guide de planification traitent de diverses techniques de gestion d'autoroutes permettant de minimiser les problèmes de circulation occasionnés par les incidents routiers. Ces techniques sont en grande partie fondées sur :

a) la surveillance des autoroutes, afin de connaître en tout temps les conditions de circulation qui y règnent;

b) la régulation du trafic, pour éviter ou, du moins, atténuer les problèmes reliés à une

circulation trop dense et, en particulier, aux incidents pouvant survenir dans de telles conditions;

c) le maintien de la fluidité du trafic en vue d'éviter la progression par à-coups;

d) une détection et une intervention rapides en cas d'incident, pour réduire au minimum les retards occasionnés aux autres usagers; et

e) l'information aux usagers quant aux conditions de circulation sur les autoroutes.

Bien que les efforts aient jusqu'ici porté surtout sur la construction, l'achèvement ou l'extension des réseaux autoroutiers, tant dans les provinces qu'à l'échelle du pays tout entier, on reconnaît maintenant qu'il n'est pas tout de construire des autoroutes; il faut ensuite en assurer l'exploitation et l'entretien. Dans le passé, un grand nombre d'organismes d'exploitation d'autoroutes ne se considéraient responsables que du strict entretien de l'infrastructure matérielle, c'est-à-dire tonte du gazon, réfection de la chaussée, remise en état des ponts, déneigement. Cependant, dans la plupart des cas, ces travaux ne règlent qu'une partie des problèmes des usagers et n'apportent aucune solution aux encombrements qui se produisent tous les jours aux heures de pointe du matin et du soir. Même les usagers qui reportent leurs déplacements en dehors des heures de pointe pour éviter les encombrements risquent d'être gênés par des travaux de construction ou d'entretien (encore que ceux-ci soient nécessaires et qu'il soit préférable de les faire en dehors des heures de pointe).

Figure 2e

EFFETS D'UN INCIDENT SUR UNE AUTOROUTE DE LOS ANGELES EN CALIFORNIE

2.4 Gestion des autoroutes: objectif — économie d'énergie

Les systèmes de gestion d'autoroutes ont été conçus en fonction des divers objectifs de la planification du trafic routier. Ces objectifs sont souvent présentés suivant un ordre de priorité qui varie selon qu'il reflète le point de vue de l'organisme gouvernemental responsable ou de l'usager qui, dans ses trajets quotidiens entre son domicile et son lieu de travail, doit supporter :

- des encombrements périodiques attribuables à la capacité limitée de la route; et
- des encombrements sporadiques attribuables à des incidents, des travaux d'entretien ou des circonstances extraordinaires.

La figure 2f énumère les principaux objectifs visés par la gestion des autoroutes ainsi que les moyens envisagés pour les atteindre; elle indique aussi l'effet que chacun peut avoir sur la consommation d'énergie. On constatera que chaque objectif et chaque moyen mentionnés permettent de réaliser une économie d'énergie plus ou moins importante. Par exemple, une plus grande vitesse de croisière et une plus grande fluidité diminuent le nombre de ralentissements et d'accélérations brusques et, par conséquent, réduisent la consommation de carburant.

La figure 2g donne, pour différentes vitesses constantes, la quantité de carburant, en litres par 1000 véhicules-kilomètres, consommée par des véhicules légers. Selon ce graphique, on obtient la meilleure consommation à une vitesse constante d'environ 50 à 55 km/h, soit une vitesse considérablement plus élevée que la vitesse de circulation moyenne généralement constatée aux heures de pointe sur les autoroutes urbaines.

On peut réduire de façon appréciable la consommation de carburant sur les autoroutes en améliorant la fluidité du trafic et en réduisant les écarts de vitesse. La figure 2h donne la consommation supplémentaire estimative de carburant d'un véhicule moyen par 1000 changements de vitesse, comparativement à un véhicule roulant à une vitesse constante.

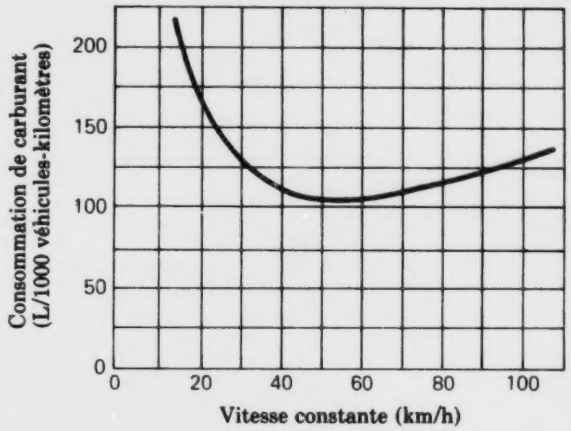
Figure 2f

OBJECTIFS VISÉS PAR LA GESTION DES AUTOROUTES ET MOYENS ENVISAGÉS POUR Y PARVENIR

OBJECTIFS	MOYENS	EFFETS SUR LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE
1. Améliorer le rendement-véhicules	• Augmentation du rendement du corridor aux heures de pointe • Répartition de la demande sur le réseau existant	• Meilleur débit entraînant une plus grande vitesse de circulation et, par conséquent, une moins grande consommation de carburant (et un plus faible volume de gaz de combustion)
2. Réduire le temps de parcours et le rendre plus prévisible	• Réduction du temps de parcours moyen • Réduction de la fluctuation des temps de parcours moyens • Réduction du nombre d'incidents	• Circulation à vitesse constante ce qui réduit la consommation de carburant
3. Détecter et intervenir rapidement en cas d'incident	• Réduction du temps de détection • Réduction du délai d'intervention • Réduction du temps d'intervention	• Intervention plus rapide ce qui réduit l'ampleur de la congestion et, par conséquent, la consommation de carburant
4. Aider promptement les automobilistes en difficulté	• Réduction du délai entre l'arrêt du véhicule et la communication avec les autorités • Réduction du délai avant l'arrivée des secours	• Voir 3. ci-dessus
5. Accroître la sécurité	• Réduction du nombre d'accidents • Réduction du nombre d'accidents secondaires • Réduction de la gravité des accidents	• Réduction des ralentissements provoqués par les accidents entraînant une baisse de la consommation de carburant • Réduction du nombre d'accidents, d'où économie d'énergie utilisée pour la fabrication et la réparation des véhicules et pour la remise en état de la route
6. Réduire la pollution atmosphérique	• Réduction des émissions polluantes	• Quantité des émissions polluantes en rapport direct avec la consommation de carburant
7. Économiser l'énergie	• Réduction de la consommation directe et indirecte d'énergie	• But ultime de la gestion des autoroutes
8. Réduire les frais d'utilisation des véhicules	• Réduction des frais de carburant et d'entretien	• Augmentation de la consommation globale due à la multiplication des déplacements
9. Améliorer l'information des usagers	• Accessibilité de l'information routière à un plus grand nombre d'usagers • Réduction du nombre des automobilistes égarés • Réduction du nombre d'accidents attribuables à une mauvaise signalisation • Accroissement de la fiabilité des informations fournies aux usagers	• Réduction de la consommation de carburant par le choix d'itinéraires plus courts • Bouchons de circulation contournés, d'où réduction dans l'ensemble, de la consommation de carburant (bien que les automobilistes qui allongent ainsi leur parcours augmentent leur consommation individuelle)
10. Accroître le confort des usagers	• Facilitation de la manoeuvre des véhicules dans le courant de circulation	• Sans objet
11. Améliorer la gestion du réseau existant	• Optimisation du rendement du réseau existant (utilisation de toutes les voies parallèles) • Abstention ou retard de la construction de nouvelles infrastructures	• Possibilité d'éviter ou de reporter à plus tard la dépense d'énergie qu'entraînent la construction et l'entretien d'un nouvel ouvrage • Moyen d'éviter l'augmentation de consommation résultant d'une demande accrue de circulation, induite par la construction de nouvelles infrastructures routières en milieu urbain
12. Réduire le volume du trafic de pointe	• Incitation au covoiturage et à l'utilisation des transports en commun	• Réduction du nombre de véhicules parcourant de longues distances ce qui réduit de façon appréciable la consommation totale de carburant • Voir également le premier point soulevé en 11
13. Développer les connaissances et l'expérience en gestion d'autoroutes	• Accumulation des données applicables à la planification et à l'étude de nouveaux systèmes au Canada	• Économie d'énergie à l'échelle du pays

Figure 2g

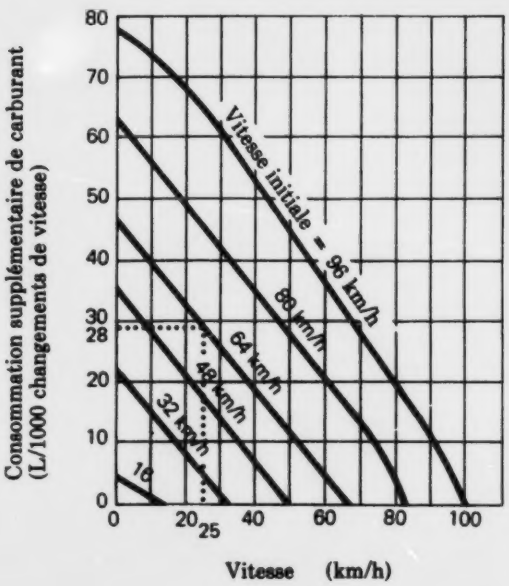
CONSOMMATION DE CARBURANT À VITESSE CONSTANTE
—Véhicules légers—



La circulation à vitesse constante réduit la consommation de carburant, les risques d'accidents, le niveau de bruit et la pollution atmosphérique. On obtient le meilleur rendement du carburant à une vitesse constante d'environ 53 km/h.

Figure 2h

CONSOMMATION SUPPLÉMENTAIRE DE CARBURANT ATTRIBUABLE AUX CHANGEMENTS DE VITESSE
—Véhicules légers—



Par exemple, un ralentissement de 64 km/h à 25 km/h puis un retour à 64 km/h, répétés 1000 fois, entraînent une consommation supplémentaire de 28,1 litres de carburant, par rapport aux véhicules qui roulent à vitesse constante.

3.
STRATÉGIES DE GESTION ENVISAGEABLES

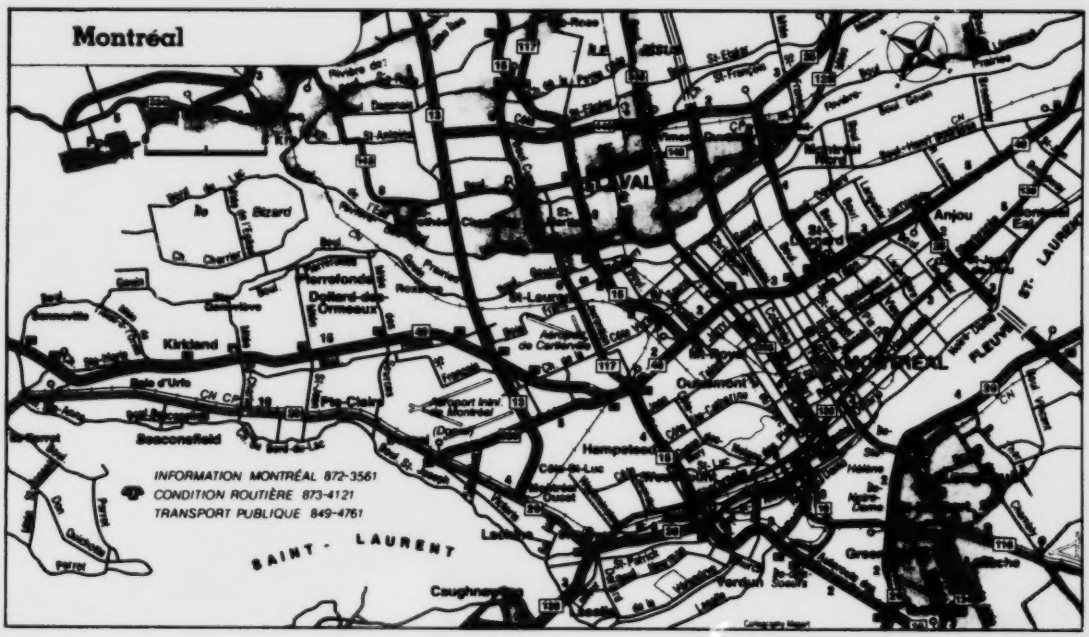


Figure 3a

3.1 Introduction

L'ingénieur de trafic appelé à choisir un système de gestion de la circulation pour une infrastructure donnée doit pouvoir associer aux objectifs visés une stratégie, des actions et des équipements les mieux adaptés aux particularités du projet considéré. Pour cela, il doit garder à l'esprit les nombreux points ou considérations susceptibles d'influer sur son choix et d'infléchir les décisions. La sélection de la solution la plus favorable exige par dessus tout qu'il ait su dégager non seulement toutes les contraintes et sujétions avec lesquelles il faudra composer, mais aussi les possibilités qu'offrent le site d'implantation et les conditions particulières de transport dans l'agglomération visée. Pour lui faciliter la tâche, la figure 3b présente les principaux facteurs à prendre en considération, exemples à l'appui.

3.2 Classification des systèmes de gestion

Les systèmes de gestion et de régulation d'autoroutes peuvent être catégorisés selon :

- la technique utilisée, et
- la nature de l'infrastructure ou de l'aménagement visé.

Le premier mode de classification distingue les différents systèmes de gestion selon la ou les techniques particulières de détection, vérification, intervention, régulation et communication mises en oeuvre. La présentation du présent

"Guide de planification" s'appuie sur cette forme de classification, les chapitres 4 à 16 (voir figure 3c) étant consacrés, chacun, à une technique distincte. Évidemment, la plupart des systèmes implantés font appel à plus d'une technique et doivent, par conséquent, être classés dans la catégorie des systèmes à éléments multiples. Le deuxième mode de classification se fonde pour sa part sur la nature des infrastructures ou aménagements visés. Cette classification fait l'objet de la figure 3d.

Figure 3b

FACTEURS À PRENDRE EN COMPTE DANS L'ÉTUDE D'UN PROJET

FACTEUR	EXEMPLE
• Site d'implantation	• Ponts, viaducs, etc. • Tunnels
• Problèmes d'environnement	• Accumulation de neige ou de verglas rendant difficile la mise en place des cônes de séparation des voies réservées • Signaux avancés de danger d'éboulement en région montagneuse • Fréquence des temps de brouillard dense nécessitant la mise en place de signaux avancés de danger
• Partage des compétences	• Coordination des objectifs municipaux, provinciaux et fédéraux • Empêchements administratifs (exemple zonage) interdisant la construction d'une voie de transit réservée aux véhicules à taux d'occupation élevé
• Contraintes physiques	• Artères du réseau de surface incapables d'absorber le trafic détourné à moins d'un réaménagmeent majeur de la régulation • Impossibilité d'ajouter des parkings au centre-ville pour répondre à la demande que représente un nombre accru de véhicules sans passagers • Zone bâtie empêchant la construction d'une voie de transit réservée aux véhicules à taux d'occupation élevé
• Réalités techniques	• Inexpérience de nombreux planificateurs et ingénieurs en matière de techniques nouvelles ou même classiques de gestion d'autoroutes • Crainte de ne pouvoir convaincre les décideurs du bien fondé technique de certaines mesures draconiennes de gestion de la circulation (ex. bretelles d'accès/de sortie réservées aux véhicules à taux d'occupation élevé dans le centre-ville) • Fausse idée généralement répandue que le trafic peut croître (comme en modélisation) au-delà de la capacité pratique du corridor considéré
• Réalités politiques	• Opinion voulant que la régulation des accès pénalise surtout les agglomérations proches de la ville (et favorise la croissance du trafic pendulaire longue distance, source de gaspillage d'énergie) • Les techniques de gestion d'autoroutes "peu visibles" n'ont pas la même faveur populaire que les programmes ambitieux de développement des réseaux routiers et de transport en commun • Pressions politiques pour une mise en service immédiate malgré que les essais probatoires n'aient pas encore été terminés • Possibilité de recul devant une forte opposition de l'opinion (à l'approche des élections par exemple)
• Réalités sociologiques	• Refus des automobilistes "solitaires" d'admettre l'intérêt socio-économique d'accorder la priorité aux véhicules à passagers multiples (covoiturage) • Groupes de pression favorisant la mise en place d'un système de gestion d'autoroutes de préférence à la construction de nouvelles infrastructures routières.

Figure 3c

SYSTÈMES DE GESTION D'AUTOROUTES
—Classement selon la technique utilisée—

Chapitre	Technique
4	Détection d'incidents
5	Confirmation d'incidents
6	Intervention/dépannage (Assistance routière)
7	Surveillance des ponts et tunnels
8	Régulation des accès
9	Priorité aux véhicules à taux d'occupation élevé
10	Signalisation d'information
11	Radioguidage routier
12	Guidage routier embarqué
13	Planification des déplacements
14	Régulation des artères
15	Réseau de communication
16	Centre de régulation

Figure 3d

SYSTÈMES DE GESTION D'AUTOROUTES
—Classement selon le genre d'infrastructure routière visée—

INFRASTRUCTURE	DESCRIPTION	AMÉNAGEMENTS
• Point dangereux ou critique	• Système localisé concernant un point précis de l'infrastructure routière	• Bretelle d'accès ou de sortie • Ouvrage d'art (pont, tunnel) • Section à caractéristiques géométriques contraignantes • Zones critiques sur le plan des nuisances
• Tracé linéaire	• Système mis en place sur autoroute simple (section courante et principaux accès ou sorties seulement)	• Infrastructure simple à accès limité — Autoroute — Voie rapide urbaine — Route-promenade
• Mini-corridor routier	• Système englobant l'autoroute urbaine, ses accès ainsi que les voies de service et de desserte	• Autoroute urbaine et voie de service • Route-promenade et une artère parallèle
• Corridor routier	• Système englobant : – Autoroute urbaine et accès ainsi que voies de service et de desserte – Autoroute parallèle ou autre infrastructure routière à accès limité – Voies transversales	• Autoroute urbaine et voies de service et principales artères parallèles • Deux autoroutes urbaines parallèles et leurs voies de service • Deux autoroutes urbaines parallèles et leurs voies de service ainsi que les artères parallèles adjacentes et artères transversales
• Zone urbaine	• Système englobant toutes les autoroutes d'un grand centre urbain	• Toutes les autoroutes du centre urbain • Toutes les autoroutes et les artères principales • Toutes les autoroutes et le réseau de voirie principal

3.3 Opérations corridor et opérations réseau

Les systèmes de gestion d'autoroutes implantés dans le cadre d'opérations corridor et d'opérations réseau associent les techniques fondamentales de gestion et de régulation de la circulation à celle des délestages et déviations. En d'autres termes, toute la circulation est guidée dans un cas comme dans l'autre de manière que chaque automobiliste puisse, à l'occasion d'un incident, opter rapidement et aisément pour un itinéraire de délestage susceptible de le conduire à destination dans un temps et des conditions de confort de conduite comparables. Pour ce faire, l'équipe de gestion autoroutière doit être en mesure de détecter les réductions de capacité attribuables à un incident sur l'une quelconque des voies de circulation surveillées et de connaître les itinéraires capables d'absorber le trafic additionnel avant de conseiller aux automobilistes touchés le meilleur itinéraire de rechange à emprunter. Le détournement de la circulation se fera au moyen de diverses techniques d'information des usagers, telles que les panneaux de signalisation variable et le radioguidage routier.

Les itinéraires de délestage pourront être :

- d'autres autoroutes ou voies rapides à l'intérieur du corridor ou du réseau considéré; ou
- les artères parallèles du réseau de surface associé.

Le délestage par les artères du réseau associé suppose que la circulation y soit également contrôlée en temps réel, au moyen d'un réseau de surveillance analogue à celui des itinéraires délestés. En outre, il pourra être nécessaire de doter de feux de signalisation les voies de service longeant l'autoroute considérée. La régulation des artères et des voies de service devra être du type adaptatif, commandée par un ordinateur central intégrant la régulation de l'autoroute et de son réseau associé.

La principale raison pour laquelle on fait appel à une régulation assistée par ordinateur est qu'elle permet d'assurer l'utilisation optimale de la capacité des artères parallèles lorsqu'il y a lieu de délester les voies courantes de l'autoroute et les voies de service. En pratique, pour que le délestage soit efficace, il faut privilégier la circulation parallèle à la voie délestée, même si cela doit signifier un certain ralentissement des courants de circulation transversaux pour un temps donné, c'est-à-dire jusqu'à ce que la cause du délestage ait pu être éliminée.

Dans le cas d'un réseau de surface dont les feux de circulation ne sont pas commandés par ordinateur, ni même interconnectés peut-être, au moment de la mise en place d'un système intégré de gestion de corridor autoroutier, celui-ci apportera un avantage qui, plutôt que d'être restreint aux seules périodes de délestage, jouera de façon permanente.

Le groupe de gestion autoroutière peut également faire appel à la technique de la régulation des accès pour détourner une partie du trafic vers les voies de service qui encadrent l'autoroute concernée. Cette technique consiste à régler le débit d'admission des automobilistes sur l'autoroute au moyen d'un feu de circulation, réglé de manière à ne laisser passer qu'un ou deux véhicules à la fois. Le dosage du trafic admis sera fonction de la capacité d'accueil de l'autoroute et pourra être déterminé par le groupe de gestion à partir du centre de régulation. À l'approche d'un accès régulé, un automobiliste pourra choisir de ne pas s'insérer dans la file des véhicules attendant d'être admis sur l'autoroute et de poursuivre son chemin par la voie de service ou même par un autre itinéraire de son choix. En induisant ce type de comportement, la régulation des accès permet d'équilibrer la demande et de se rapprocher de l'utilisation optimale de la capacité du réseau tout entier.

3.4 Systèmes de gestion intégrés

Aux États-Unis, une approche expérimentée à l'égard de réseaux routiers urbains étendus fait appel à la mise en place simultanée d'un ensemble cohérent de techniques de gestion distinctes qui se complètent les unes les autres. L'intérêt de procéder ainsi, notamment dans le cas de systèmes étendus, réside dans la réduction substantielle de leur coût global. Exemple, le système IMIS (Integrated Motorist Information System) implanté à Long Island, New York. Les concepteurs de ce système ont voulu montrer que des équipements de régulation d'utilisation courante, exploités selon des techniques de commande adaptative en temps réel, autoriseraient une cir-

culation efficace dans un corridor autoroutier existant d'une grande agglomération. En combinant les diverses techniques connues en un système intégré cohérent, ils ont su relever le rapport coût-efficacité des actions de régulation, en plus de déboucher sur un système apte à traiter une part plus grande des problèmes de circulation. Le système IMIS associe un ensemble de fonctions de surveillance et de contrôle à un ensemble de fonctions d'information des usagers et d'assistance routière.

3.5 Ensembles de techniques complémentaires

Les systèmes de gestion d'autoroutes se composent typiquement d'un certain nombre d'éléments (voir figure 3c) dont la mise en oeuvre suppose de choisir entre un certain nombre d'options techniques, administratives, organisationnelles et de prévision/formation. La figure 3e présente à cet égard un ensemble de mesures et d'actions à faible coût envisageables dans le domaine du traitement des incidents routiers (chapitres 4 à 6).

La condition première à remplir pour assurer la rentabilité d'un système donné de gestion d'autoroutes est la cohérence de l'ensemble constitué, laquelle passe par le choix des techniques qui se complètent le mieux les unes et les autres. Ainsi, plutôt que de choisir des techniques disparates procurant chacune un avantage limité, le concepteur aura intérêt à composer un ensemble cohérent de techniques dont l'impact global sera susceptible d'être beaucoup plus important que la somme "théorique" des impacts des divers éléments pris séparément.

La figure 3f présente deux exemples de systèmes groupant des techniques complémentaires, l'un dans le domaine du traitement des incidents et l'autre dans celui du traitement préférentiel des véhicules à taux d'occupation élevé.

Le domaine des stratégies de traitement préférentiel des véhicules à taux d'occupation élevé illustre bien l'importance d'associer des mesures qui se complètent. En effet, pour obtenir le maximum de résultats, il faut mettre en place un train de mesures soigneusement programmé alliant des incitations au covoiturage et à l'utilisation des transports en commun et des dissuasions à l'utilisation "en solitaire" des voitures particulières. En répartissant les mesures de dissuasion tout le long du corridor considéré, les automobilistes "solitaires" en ressentiront moins vivement les inconvénients, alors que, faisant de même à l'égard des incitations, on obtiendra que les covoitureurs et usagers de transports en commun puissent quand même gagner un temps appréciable, résultat de l'accumulation des gains partiels réalisés à chaque emplacement (bretelle d'accès, section courante, bretelle de sortie, stationnement).

3.6 Stratégies de gestion envisageables

La figure 3g réunit dans un même tableau l'ensemble des stratégies de gestion d'autoroutes envisageables et pointe les actions et techniques applicables dans chaque cas, ces dernières étant accompagnées d'un numéro de renvoi au chapitre correspondant du présent ouvrage. À remarquer cependant que l'élaboration de la stratégie globale et le choix des actions et techniques individuelles à appliquer doivent se guider sur les objectifs que l'on s'est fixés au départ.

Figure 3e

SYSTÈMES DE TRAITEMENT DES INCIDENTS SUR AUTOROUTES
—Techniques à faible coût—

FORCES DE POLICE	ADMINISTRATION AUTOROUTIÈRE	SERVICE D'EXPLOITATION PONCTUEL	GROUPE DE CITOYENS	GROUPE DE GESTION D'INCIDENTS
Surveillance				
Fréquence accrue des patrouilles Patrouilles en moto en période de pointe Contrôle des communications en BP Patrouilles de surveillance Véhicules d'intervention en attente Surveillance aérienne	Contrôle des communications BP Téléphones d'appels d'urgence Patrouilles de secours routier Véhicules d'intervention en attente	Personnel de surveillance Véhicules d'intervention en attente Fréquence accrue des patrouilles de police Téléphones d'appels d'urgence Surveillance électronique Détecteurs à boucle d'induction Patrouilles en moto en période de pointe	Contrôle des communications BP Personnel de surveillance bénévole Patrouilles de secours routier	Fréquence accrue des patrouilles Contrôle des communications BP Téléphones d'appels d'urgence Patrouilles en moto en période de pointe Patrouilles de secours routier Véhicules d'intervention en attente Surveillance aérienne
Administration				
Élaboration de plans de feux d'urgence Création d'une patrouille autoroutière Enlèvement rapide des véhicules	Élaboration de plans de feux d'urgence Enlèvement rapide des véhicules Aménagement de postes d'investigation	Enlèvement rapide des véhicules Aménagement de postes d'investigation Création d'une patrouille autoroutière	Enlèvement rapide des véhicules	Élaboration de plans de feux d'urgence Création d'une patrouille autoroutière Enlèvement rapide des véhicules Étude de prévention des véhicules Aménagement de postes d'investigation
Organisation				
Liaison avec administration routière Contrat de dépannage Liaison avec d'autres administrations publiques Liaison avec des groupes de citoyens Liaison avec les médias Coordination avec les services du secteur privé Numéro de téléphone — urgences routières	Liaison avec les forces de police Coordination avec les services du secteur privé Liaison avec les médias Liaison avec d'autres administrations publiques Contrats de dépannage Liaison avec les groupes de citoyens Liaison avec les services de transport en commun Numéro de téléphone — urgences routières	Contrats de dépannage Liaison avec les médias Liaison avec d'autres administrations publiques Coordination avec les services du secteur privé Liaison avec les groupes de citoyens	Liaison avec force de police/pouvoir public Liaison avec les médias Coordination avec les services du secteur privé	Liaison avec autres administrations publiques Équipe d'intervention Contrats de dépannage Liaison avec les médias Coordination avec les services du secteur privé Liaison avec groupes de citoyens Liaison avec service transport en commun Numéro de téléphone — urgences routières
Prévision et formation				
Formation spécialisée en circulation routière Manuel du régulateur Manuel de traitement des matières dangereuses	Formation spécialisée en circulation routière Planification des itinéraires de délestage Manuel du régulateur Formation en communications	Manuel de traitement des matières dangereuses Plan d'intervention Manuel du régulateur Formation spécialisée en circulation routière	Formation en communications Brochure d'information	Planification des itinéraires de délestage Formation spécialisée en circulation routière Manuel du régulateur Manuel des matières dangereuses Formation en communications

Figure 3f

ENSEMBLES DE TECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES

STRATÉGIE	ENSEMBLE
• Gestion des incidents	• Équipe de gestion des incidents dépêchée sur place
	• Détection par boucle d'induction
	• Confirmation d'incident — Contrôle des communications en BP — Télévision en circuit fermé
	• Assistance routière — Bornes d'appel d'urgence
	• Intervention/dépannage — Patrouilles d'assistance routière — Dépanneuses — Équipes d'urgence médicale
	• Enlèvement des véhicules — Dépanneuses
	• Signalisation d'information — Panneaux à messages variables — Radioguidage routier — Détournement du trafic
	• Moyens d'information — Radio, télévision, journaux — Planification des déplacements
• Priorité aux véhicules à taux d'occupation élevé	• Parkings de dissuasion périurbains à proximité des principaux noeuds autoroutiers
	• Bretelles ou voies d'accès réservées aux véhicules à taux d'occupation élevé
	• Voie réservée aux transports en commun et aux "covoitureurs", dans le sens de la circulation ou à contresens
	• Bretelles de sortie réservées aux véhicules à taux d'occupation élevé
	• Priorité de stationnement au centre-ville : parc de stationnement/garages municipaux à proximité des zones à forte concentration d'emploi, affectés aux véhicules multipassagers entre 6 et 11 h 00 du lundi au vendredi

Figure 3g

MATRICE DE SÉLECTION DES STRATÉGIES, ACTIONS ET TECHNIQUES DE GESTION D'AUTOROUTES

| STRATÉGIE | ACTION | TECHNIQUES | | |

Figure 3g

MATRICE DE SÉLECTION DES STRATÉGIES, ACTIONS ET TECHNIQUES DE GESTION D'AUTOROUTES (suite)

| STRATÉGIE | ACTION | TECHNIQUES | | |

4.
DÉTECTION D'INCIDENTS

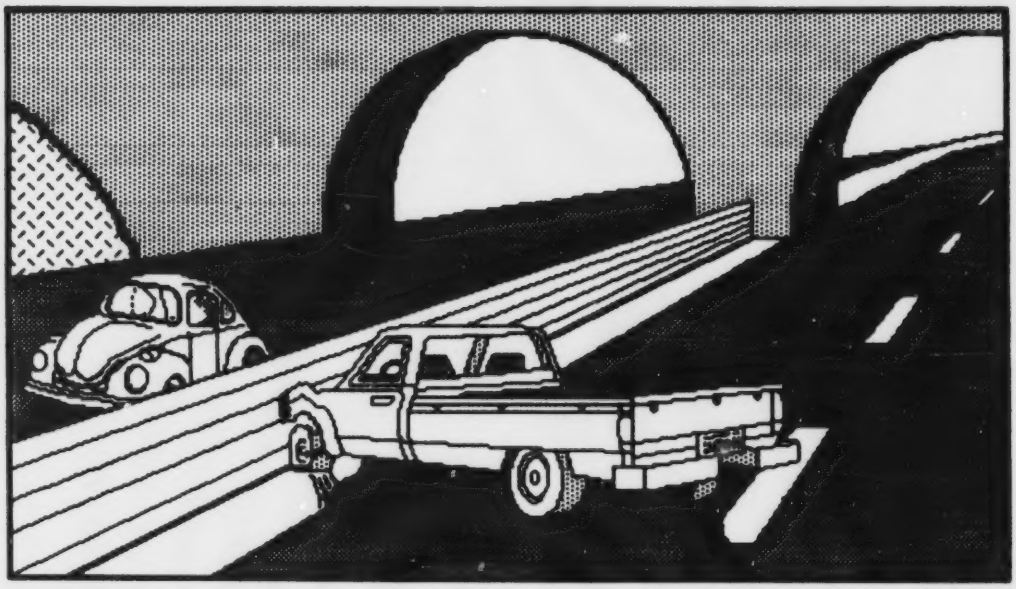


Figure 4a

4.1 Principes

Il nous arrive souvent d'être pris dans un embouteillage sur une voie rapide, à cause d'incidents divers comme :

a) un accident;

b) un véhicule en panne;

c) la fermeture d'une voie à des fins d'entretien ou de construction; ou

d) un ralentissement de la circulation causé par la curiosité dont les automobilistes font immanquablement preuve lorsqu'il y a un accident ou des travaux en cours de l'autre côté du terre-plein central.

Dans une telle situation, à l'agacement d'être retardé sans savoir combien de temps, s'ajoute le fait d'ignorer si l'incident a été détecté ou même signalé aux responsables.

Le rôle d'un système de détection est de signaler les incidents dès qu'ils se produisent afin que la voie puisse être dégagée et les conditions normales de circulation rétablies dans le plus bref délai.

À l'origine, les systèmes d'assistance routière mis en place par certaines administrations faisaient partie d'un système de détection d'incidents, mais les plus récents servent surtout à demander du secours en cas de panne. En effet, malgré les nombreux véhicules qui peuvent passer, l'automobiliste en panne, mécanique ou autre (échauffement du radiateur, panne d'essence, etc.), est souvent forcé d'attendre dans sa voiture que la police passe, ou bien de se rendre à pied jusqu'à l'échangeur le plus proche pour y chercher du secours. Les préoccupations prioritaires dans une telle situation concernent :

1) la sécurité de l'automobiliste en difficulté; et

2) l'enlèvement du véhicule en panne afin que la circulation ne soit ralentie ni par l'obstacle qu'il constitue, ni par la curiosité des autres automobilistes.

S'il est vrai, comme le soutiennent plusieurs études menées dans le passé, que l'espérance de vie moyenne d'un piéton marchant au bord d'une voie rapide est d'environ 20 minutes, il devient impérieux d'installer, à des endroits faciles d'accès, des dispositifs d'appel de secours permettant aux automobilistes en difficulté de faire venir l'aide voulue.

4.2 Techniques

Surveillance électronique

La surveillance électronique est la méthode de détection d'incidents la plus employée sur les grandes voies rapides. On utilise généralement des détecteurs à boucle d'induction pour deux raisons :

- l'usure n'entraîne pas la transmission d'indications inexactes; et
- comme ils fonctionnent par tout ou rien, toute défectuosité est facile à constater.

La plupart des systèmes de surveillance électronique comprennent une batterie de détecteurs encastrés dans la chaussée environ tous les 800 m (figure 4b). Ceux-ci servent principalement à déterminer le taux d'occupation, c'est-à-dire le pourcentage du temps pendant lequel l'espace contrôlé par un détecteur est occupé. Il est alors possible, par une mise en comparaison des indications d'un détecteur donné avec celles des détecteurs en amont ou en aval, de déterminer si le trafic s'écoule bien ou si la voie est encombrée.

Un système de surveillance électronique permet de détecter un accident grave, telle une collision entre deux semi-remorques bloquant complètement la voie, presque au moment où il se produit. Les véhicules ne pouvant passer, les détecteurs enregistrent un taux d'occupation élevé en amont et nul en aval de l'accident.

Les principaux avantages de la surveillance électronique sont les suivants :

- possibilité d'assurer une surveillance ininterrompue de toute une section de route à partir d'un seul centre de contrôle; et
- coûts d'exploitation faibles en comparaison de la plupart des autres méthodes de détection.

Par contre, l'implantation des boucles d'induction peut être longue et coûteuse. Il faut en tenir compte dans la planification et la conception du système de gestion d'une voie rapide.

Voitures de patrouille

La police et le personnel d'exploitation circulant en voitures de patrouille ou en véhicules d'entretien ou de surveillance (équipés de postes émetteurs-récepteurs) peuvent signaler les incidents dont ils sont témoins, directement au poste ou au centre de commande qui pourra alors envoyer les secours appropriés (figure 4c).

Toutefois, les voitures de patrouille/surveillance ne sont généralement pas utilisées comme principale méthode de détection d'incidents sur les voies rapides en raison des coûts élevés reliés à la rémunération du personnel ainsi qu'à l'achat, à l'entretien et à l'exploitation de ces véhicules; de plus, les délais de détection sont généralement considérés comme étant trop variables puisqu'ils dépendent largement des parcours suivis. En fait, ces voitures qui ne peuvent être qu'un moyen d'appoint dans la détection des incidents, servent

Figure 4b
DÉTECTEURS À BOUCLE D'INDUCTION

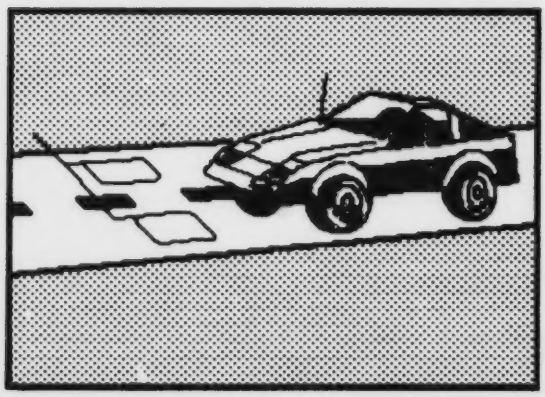
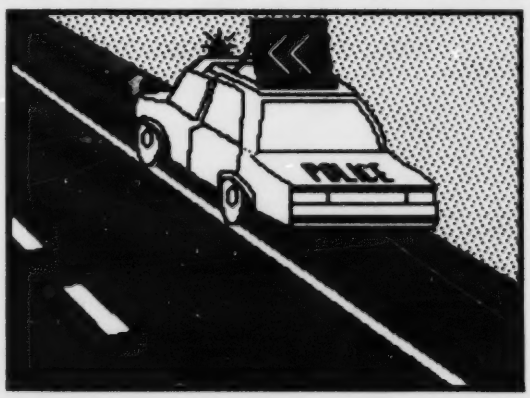


Figure 4c
VOITURE DE PATROUILLE DE LA POLICE



surtout à en vérifier la nature exacte et, dans les nombreux cas d'incidents mineurs, à apporter un secours immédiat.

Hélicoptères et avions

On utilise également des hélicoptères et des petits avions pour assurer une surveillance aérienne du trafic sur les voies rapides urbaines et périurbaines et les réseaux associés (figure 4d). Les patrouilleurs aériens peuvent vérifier immédiatement la nature des incidents détectés, même si la cause exacte en est inconnue (s'il s'agit par exemple d'une panne de moteur ou d'essence). La surveillance aérienne est toutefois assujettie aux conditions atmosphériques : il arrive que les appareils ne soient pas autorisés à décoller ou que la visibilité soit trop faible.

L'emploi d'hélicoptères ou de petits avions servant uniquement à la détection d'incidents routiers est jugé trop coûteux par les administrations autoroutières (prix d'achat et coût d'exploitation trop élevés des appareils, salaires, etc.); aussi, certaines préfèrent-elles mettre à contribution les patrouilleurs aériens de la police. Cependant, dans la plupart des cas, les appareils de surveillance aérienne appartiennent à des stations de radio privées (souvent des stations concurrentes) qui offrent au public un service d'information sur l'état des routes et les conditions de circulation en vue d'augmenter leur cote d'écoute. Elles transmettent aussi quelquefois des rapports plus détaillés à la police et aux organismes d'exploitation au cours de leurs émissions régulières.

Radio — Bande publique

Les automobilistes dont la voiture est équipée d'un poste BP peuvent signaler les incidents dont ils sont témoins (figure 4e). Cette source d'information s'est avérée très utile là où certaines voies sont réservées aux communications d'urgence — elles sont annoncées et les usagers savent qu'il y a toujours quelqu'un à l'écoute. Toutefois, il y a des désavantages à compter strictement sur les communications BP pour la détection des incidents routiers, notamment l'éventuel délai avant qu'un incident soit signalé et la possibilité que le même incident soit rapporté par plusieurs personnes, même après l'intervention. De plus, l'écoute continue afin de capter tout rapport d'incident est, à la longue, très ennuyeuse pour le personnel. Enfin, les postes de réception doivent être implantés à l'intérieur ou à proximité de chaque corridor, l'information étant relayée à un centre de commande qui envoie les secours appropriés.

Téléphones d'appel d'urgence

Certaines voies rapides sont équipées de téléphones placés à intervalles réguliers pour permettre aux automobilistes en difficulté d'obtenir du secours auprès de l'organisme d'exploitation. En soulevant le combiné (figure 4f), ils sont automatiquement mis en communication avec un opérateur. Comme il s'agit de communications en phonie, ils peuvent préciser la nature de la panne et l'emplacement de leur véhicule, permettant ainsi à l'opérateur d'envoyer les services d'intervention appropriés.

Figure 4d
SURVEILLANCE AÉRIENNE

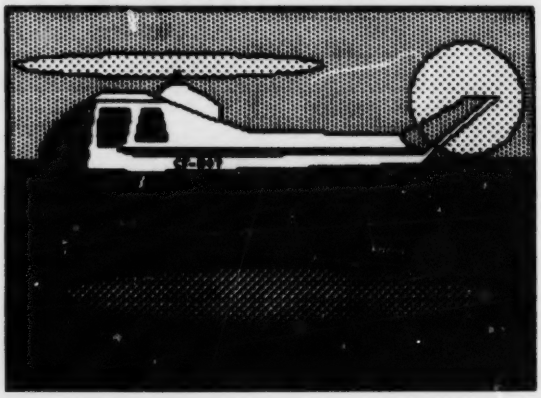
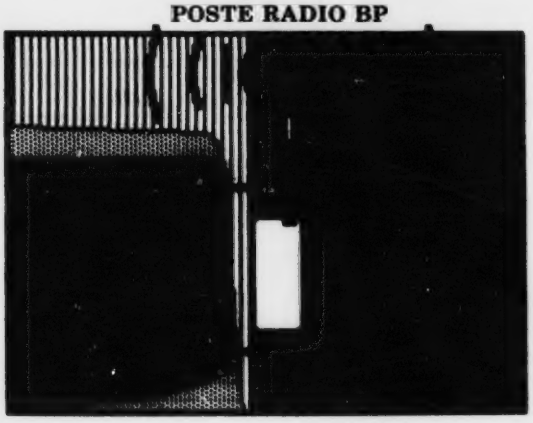


Figure 4e
POSTE RADIO BP



Boutons d'appel d'urgence

Des tableaux à boutons peuvent également être installés le long des voies rapides pour les appels de secours. Il suffit alors d'ouvrir le coffret et d'appuyer sur le bouton correspondant à la forme d'aide voulue c'est-à-dire ambulance, police, dépanneuse, etc. (figure 4g); certains tableaux plus complexes permettent même de préciser la nature de l'incident. Dès qu'un des boutons est enfoncé, le centre de commande peut déterminer de quel endroit provient l'appel.

Ce système d'appel de secours présente un avantage en régions bilingues du fait qu'il utilise des symboles figuratifs pour représenter les formes de secours disponibles (par exemple, voiture de police, ambulance, etc). Il évite ainsi d'éventuelles difficultés de communication verbale.

Bien qu'un système d'appel à boutons avec messages codés soit, en général, moins coûteux qu'un réseau téléphonique, ce dernier est préférable dans la plupart des cas. Des études ont démontré que certains problèmes surgissent plus fréquemment avec un système à boutons parce qu'il n'y a pas de communication verbale entre la personne en difficulté et l'opérateur. Parmi ces problèmes, il y a lieu de mentionner :

a) l'impossibilité d'accuser réception de la demande de secours;

b) l'impossibilité de déterminer s'il y a plus d'un véhicule en panne dans le cas où plusieurs appels proviennent du même poste — il peut s'agir d'un automobiliste impatient qui rappelle parce que les secours ne sont pas encore arrivés;

c) l'impossibilité pour les opérateurs des véhicules d'intervention de communiquer avec celui du système lorsqu'ils ne trouvent personne sur les lieux où ils ont été envoyés (soit que l'automobiliste a réussi à remettre son véhicule en marche ou qu'il a résolu son problème avant l'arrivée des secours.

4.3 Équipements

Comme il a été dit plus haut, les systèmes les plus sûrs et les plus efficaces de détection des incidents routiers utilisent la surveillance électronique. Celle-ci nécessite les équipements suivants :

- boucles d'induction encastrées dans la chaussée;
- amplificateurs (un amplificateur peut desservir jusqu'à 4 boucles sur des voies séparées);
- armoire pour loger les amplificateurs et les postes de transmission;
- réseau de transmission pouvant, dans certains cas, effectuer un prétraitement local des données recueillies par les détecteurs (voir chapitre 15 : Réseau de communication);
- centre de traitement de l'information, où les communications phoniques ou les données prétraitées des détecteurs sont traitées par ordinateur (algorithme) pour déterminer les paramètres caractéristiques du trafic (voir chapitre 16 : Centre de régulation).

Figure 4f
TÉLÉPHONE D'APPEL D'URGENCE

Figure 4g
BORNE D'APPEL D'URGENCE

Les boucles de détection sont constituées de plusieurs spires de fil logées dans des rainures d'au moins 4 cm (1½ pouce) de profondeur pratiquées à la scie dans la chaussée, matérialisant un rectangle ou un losange (de 2 m x 2 m en général) relié par une rainure droite à une canalisation au bord de la chaussée. Après mise en place du fil, les rainures sont remplies de résine époxyde ou de bitume chaud. L'amplificateur réagit aux variations d'inductance qui se produisent lorsque les véhicules traversent le champ d'action du détecteur.

Les téléphones d'appel d'urgence permettent aux automobilistes en difficulté d'entrer en communication directe avec un opérateur qui peut alors envoyer les secours appropriés. Les téléphones doivent être reliés au centre de commande de l'une des façons suivantes :

a) par des lignes téléphoniques louées;

b) par des câbles de transmission mis en place par l'organisme d'exploitation de la voie rapide; ou

c) par un poste radio émetteur-récepteur placé à chaque poste d'appel.

Le système d'appel à boutons est moins complexe qu'un réseau téléphonique, mais nécessite tout de même un réseau de transmission reliant les postes d'appel au centre de commande.

4.4 Coûts

Les coûts d'implantation des systèmes de détection d'incidents et d'assistance routière peuvent être ventilés de la façon suivante :

- **Système de surveillance électronique**
  (armoire et poste de transmission non compris)

• Fil pour boucles d'induction	30 m/boucle	@	3,25	$/m	=	100 $
• Exécution et remplissage des rainures	9 m/boucle	@	15	$/m	=	135 $
• Boîte de tirage	(l'unité) 1	@	500	$	=	500 $
• Canalisation	3 m	@	20	$/m	=	60 $
• Amplificateur	(l'unité) 1	@	250	$	=	250 $

Un poste de détection typique comprendrait une boucle d'induction par voie. Donc, pour une route à trois voies, un poste comportant une boîte de tirage et trois amplificateurs coûterait environ 1545 $, sans compter le poste de transmission et l'armoire protégeant le tout.

- **Téléphones ou boutons d'appel d'urgence**
  (réseau de transmission non compris)

• Téléphone ou tableau d'appel	1 600	$/chacun
• Équipement de contrôle central	20 000	$/système
• Équipement de commande central	40 000	$/système

Les coûts indiqués ci-dessus, comme ceux qu'on trouvera dans les chapitres 5 à 16, sont fournis strictement à titre indicatif. Un devis estimatif devra être établi dans chaque cas pour tenir compte des conditions particulières d'implantation.

4.5 Critères de choix

Pour déterminer lequel des divers systèmes en présence convient le mieux dans l'application particulière envisagée, on doit tenir compte de plusieurs facteurs ou critères de choix. La figure 4h les énumère sous forme de caractéristiques, souhaitables ou non, et pointe les systèmes auxquels ils s'appliquent.

Figure 4h

CRITÈRES DE CHOIX DES SYSTÈMES DE DÉTECTION D'INCIDENTS

CRITÈRES DE CHOIX	SYSTÈMES DE DÉTECTION					
					Assistance routière	
	Surveillance électronique	Véhicules de patrouille	Surveillance aérienne	Radio Bande publique	Téléphone d'appel d'urgence	Borne d'appel d'urgence
• Détection automatique des incidents	✓	—	—	—	—	—
• Dépend des rondes de surveillance	—	✓	✓	—	—	—
• Dépend des usagers de la route	—	—	—	✓	✓	✓
• Permet de confirmer l'existence d'un incident	—	✓	✓	✓	—	—
• Autorise les communications dans les deux sens	—	—	—	—	✓	—
• Permet de demander du secours	—	—	—	✓	✓	✓
• Nécessite un réseau de transmission	✓	—	—	—	✓	✓
• Besoin éventuel de mettre à contribution les appareils, véhicules et équipements d'autres organismes	—	✓	✓	—	—	—
• Emploi limité par les conditions atmosphériques	—	—	✓	—	—	—
• Investissement initial élevé	✓	—	—	—	—	—
• Détection rapide et fiable dans toute la zone surveillée	✓	—	—	—	—	—
• Détection immédiate des embouteillages importants	✓	—	—	—	—	—

5.
CONFIRMATION D'INCIDENTS

Figure 5a

5.1 Principes

Dès qu'un incident est détecté, il est important d'en déterminer la nature afin que les secours appropriés puissent être envoyés. Si l'incident a été détecté par le personnel de surveillance aérienne ou au sol, celui-ci pourra en préciser immédiatement la nature. Par contre, avec un système de surveillance électronique, seul le lieu exact de l'incident peut être établi dans l'immédiat; il faut avoir recours à d'autres moyens pour en vérifier la nature. Il est important que la détection et la vérification se fassent rapidement afin que les conditions normales de circulation puissent être rétablies dans le plus bref délai. Le présent chapitre traite des moyens de vérification suivants :

- caméras de télévision;
- contrôle des communications radio en BP; et
- patrouilles de police.

5.2 Techniques

Télévision

Plusieurs expériences ont été faites avec des caméras de télévision placées le long des voies rapides. Celles-ci ne se sont pas avérées très pratiques comme moyen de détection. Par contre, elles sont utiles pour vérifier la nature des incidents détectés par l'équipement de surveillance électronique. En actionnant la caméra située à proximité du lieu où est survenu l'incident (figure 5b), on peut visualiser ce dernier sur un écran au centre de commande (figure 5a). On est ensuite en mesure d'envoyer les secours appropriés. Bien que les coûts d'installation des caméras et des câbles de transmission soient très élevés, les progrès technologiques récents dans ce domaine (notamment, une définition améliorée) justifient davantage leur emploi pour la vérification des incidents. Les avantages et les inconvénients de la vérification par télévision sont énumérés à la figure 5e.

Radio — Bande publique

Aux États-Unis, de récents projets font usage de postes de contrôle de radio BP implantés le long de la route et permettent d'entrer en communication avec les usagers de la bande publique en cas d'incident (figure 5c). Ce système élimine l'obligation de rester continuellement à l'écoute des communications émises en bande affectée aux messages d'urgence. Ainsi, après avoir localisé un incident détecté par le système de surveillance électronique (les boucles d'induction), on peut ouvrir, depuis le centre de commande, le poste de contrôle le plus près des lieux de l'incident. L'opérateur peut alors se mettre à l'écoute des communications émises par les automobilistes dans le voisinage de l'incident. Comme il peut également communiquer avec eux, il peut obtenir une description détaillée de la situation sans se déplacer. Le coût d'installation est moins élevé pour les postes de contrôle de radio BP que pour les caméras de télévision. Les avantages et les inconvénients de la vérification d'incidents par postes radio BP sont énumérés à la figure 5f.

Figure 5b
CAMÉRA DE TÉLÉVISION EN CIRCUIT FERMÉ

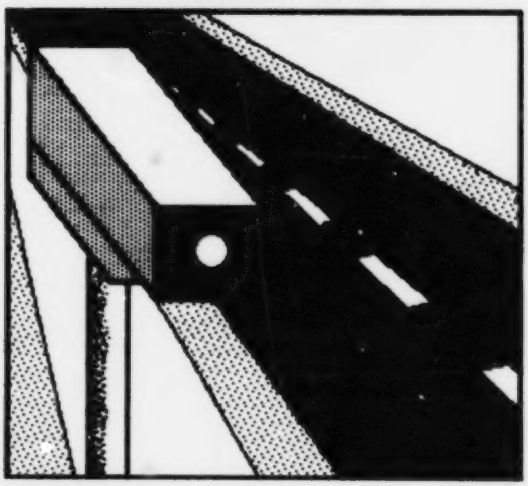


Figure 5c
POSTE DE CONTRÔLE DES COMMUNICATIONS RADIO EN BP

Patrouilles de police

Les incidents détectés par surveillance électronique peuvent également être vérifiés par des patrouilles de police (figure 5d). Le temps requis pour se rendre sur les lieux est de la plus grande importance; il dépend évidemment de la distance à parcourir et peut être très long si la voiture de patrouille se trouve prise dans un embouteillage en amont de l'incident. Dans certains cas, on a augmenté le nombre de voitures de patrouille pour réduire leur parcours, afin qu'elles puissent se rendre sur les lieux des incidents dans un délai raisonnable. Toutefois, la vérification d'incidents par des patrouilles coûte cher tant en matériel (achat et exploitation des véhicules) qu'en main-d'oeuvre. Les avantages et les inconvénients de la vérification par patrouilles sont énumérés à la figure 5g.

Figure 5d
PATROUILLE DE POLICE

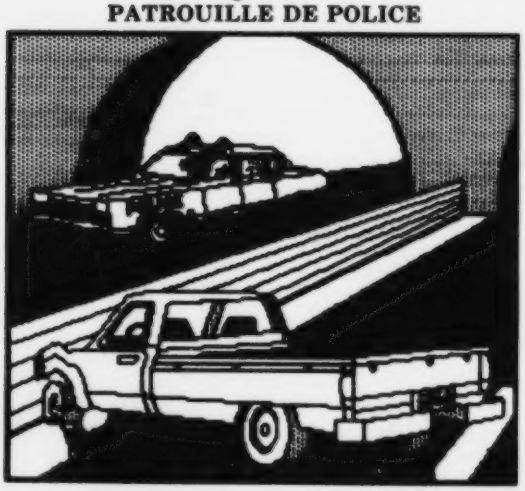


Figure 5e

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA VÉRIFICATION D'INCIDENTS PAR TÉLÉVISION

Avantages

- Visualisation instantanée au centre de commande de l'incident et de la section d'autoroute en cause
- Présence non requise sur les lieux d'un policier ou d'un préposé à l'exploitation pour vérifier la nature de l'incident
- Définition améliorée de l'image grâce aux derniers progrès de la technologie
- Très efficace pour le contrôle d'une section de faible longueur ou d'un point critique (ponts, tunnels, etc.)
- Élimination d'une surveillance continuelle des écrans de contrôle, par l'utilisation d'un système d'alarme automatique.

Inconvénients

- Investissement initial élevé pour l'achat et l'installation des caméras, des supports, des écrans de contrôle et des câbles de transmission - peut être prohibitif pour une application à grande échelle
- Coûts d'entretien élevés
- Nécessité de l'emploi de câbles coaxiaux ou de liaisons hertziennes, alors qu'un autre système de transmission peut fort bien avoir été implanté ou prévu pour le reste de l'autoroute
- À défaut d'un système d'alarme automatique, il faut surveiller continuellement les écrans de contrôle.

Figure 5f

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA VÉRIFICATION D'INCIDENTS PAR CONTRÔLE À DISTANCE DES COMMUNICATIONS RADIO EN BP

Avantages

- Élimine la nécessité de demeurer continuellement à l'écoute des communications émises en BP
- Présence non requise sur les lieux d'un policier ou d'un préposé à l'exploitation pour vérifier la nature de l'incident
- Possibilité de communication unilatérale ou bilatérale, selon qu'on désire seulement se mettre à l'écoute ou communiquer avec les automobilistes dans le voisinage de l'incident
- Coûts d'établissement, d'entretien et d'exploitation moins élevés que pour la télévision en circuit fermé.

Inconvénients

- Dépend des utilisateurs de postes radio BP pour obtenir des renseignements; possibilité d'obtenir des renseignements inexacts
- Aucune visualisation de l'incident.

Figure 5g

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA VÉRIFICATION D'INCIDENTS PAR PATROUILLES DE POLICE

Avantages

- Vérification et intervention immédiates si l'incident est détecté par une patrouille de police
- Intégration facile aux autres fonctions des patrouilles de police (contrôle de la vitesse, constatation d'infractions, etc.)
- Secours immédiat dans bien des cas d'urgence ou d'incendie.

Inconvénients

- Nécessité de véhicules et de personnel supplémentaires aux heures de pointe dans les zones urbaines fortement encombrées
- Délai de vérification accru si la voiture de patrouille se trouve prise dans un embouteillage en amont de l'incident faute de voie de secours (accotement, par exemple).

5.3 Équipements

Les principaux éléments d'un système de télévision en circuit fermé sont les suivants :

- caméras de télévision montées sur des poteaux ou des constructions existantes (bâtiments, viaducs, etc.) à divers endroits le long de la voie rapide;
- accessoires de caméras (par exemple, mécanisme de rotation et de pointage);
- écrans dans le centre de commande;
- matériel périphérique (magnétoscopes); et
- réseau de transmission reliant les appareils implantés le long de la voie au centre de commande (transmission par câbles coaxiaux ou par liaisons hertziennes).

Les principaux éléments d'un système décentralisé de contrôle des communications radio en BP sont les suivants :

- armoires de protection sur socles;
- antennes pour les postes de contrôle;
- poste BP et interface dans chaque armoire;
- appareils de communication; et
- poste BP émetteur-récepteur au centre de commande.

Les principaux éléments d'un système de vérification par patrouilles de police sont les suivants :

- véhicules de patrouille;
- émetteurs-récepteurs de police;
- matériel de secours divers équipant les voitures; et
- équipement de communication de police au centre de commande.

5.4 Coûts

Les coûts approximatifs des trois systèmes de vérification d'incidents considérés sont ventilés à la figure 5h.

Figure 5h

COÛTS DES SYSTÈMES DE VÉRIFICATION D'INCIDENTS

ÉLÉMENT	COÛTS
Télévision en circuit fermé[1]	
• caméra avec mécanisme de rotation et de pointage	15 000 $
• poteau de montage	5 000 $
• armoire de commande	800 $
• écran au centre de commande	600 $
• magnétoscope au centre de commande	2 000 $
• dispositif de commande des caméras dans la salle de l'ordinateur	12 000 $
Contrôle décentralisé de radio BP	
• boîtier et socle[2]	—
• antenne à gaine de PVC	30 $
• poste BP et interface dans chaque armoire	100 $
• poste émetteur-récepteur BP au centre de commande	70 $
• communications téléphoniques en service automatique ($/mois/poste de contrôle)	20 $
Patrouille de police	
• véhicule équipé pour les communications radio	20 000 $
• agent[3]	30 000 $
• équipement de communication de police au centre de commande[4]	300 $

Remarques :

(1) Pour le coût des câbles coaxiaux, voir le chapitre 15.

(2) On suppose que l'équipement sera logé dans des boîtiers existants. On ne prévoit donc aucun coût pour ces éléments.

(3) Le coût indiqué correspond à un poste de 8 heures par jour. Pour assurer un service de vérification permanent, il faut prévoir cinq agents par jour à cause des postes de travail, des vacances, etc. Il faut ajouter au montant indiqué des frais généraux en proportion.

(4) Le coût de cet élément pourrait être compté avec le système d'interface entre le centre de commande et la police gestionnaire de la voie rapide plutôt qu'avec le système de vérification des incidents.

5.5 Critères de choix

Pour déterminer lequel des systèmes considérés convient le mieux dans l'application particulière envisagée, on doit tenir compte de plusieurs facteurs ou critères de choix. La figure 5i les énumère sous forme de caractéristiques, souhaitables ou non, et pointe les systèmes auxquels ils s'appliquent.

Figure 5i

CRITÈRES DE CHOIX DES SYSTÈMES DE VÉRIFICATION D'INCIDENTS

CRITÈRES DE CHOIX	SYSTÈMES DE VÉRIFICATION		
	Télévision en circuit fermé	Contrôle à distance des communications en BP	Patrouilles de police
Nature de la zone à surveiller			
• points particulièrement dangereux	✓	✓	✓
• ponts et tunnels	✓	—	✓
• longues sections de route	—	✓	✓
Délai de vérification			
• le plus court	✓	✓	—
Influence des conditions atmosphériques			
• demeure efficace par temps de forte pluie ou de brouillard	—	✓	✓
Investissement initial			
• élevé	✓	—	—
• moyen	—	—	✓
• bas	—	✓	—
Coûts d'exploitation			
• élevés	✓	—	—
• moyens	—	—	✓
• bas	—	✓	—
Caractéristiques d'exploitation			
• informations visuelles	✓	—	—
• nécessité de se rendre sur les lieux pour vérifier l'incident	—	—	✓
• possibilité d'utiliser un système d'alarme pour déclencher le processus de vérification	✓	✓	✓
• intervention immédiate de la police ou du service de secours	—	—	✓
• pas d'autre fonction à remplir (par exemple, régulation de la circulation dans le cas des agents de police)	✓	—	—

6.
INTERVENTION/DÉPANNAGE

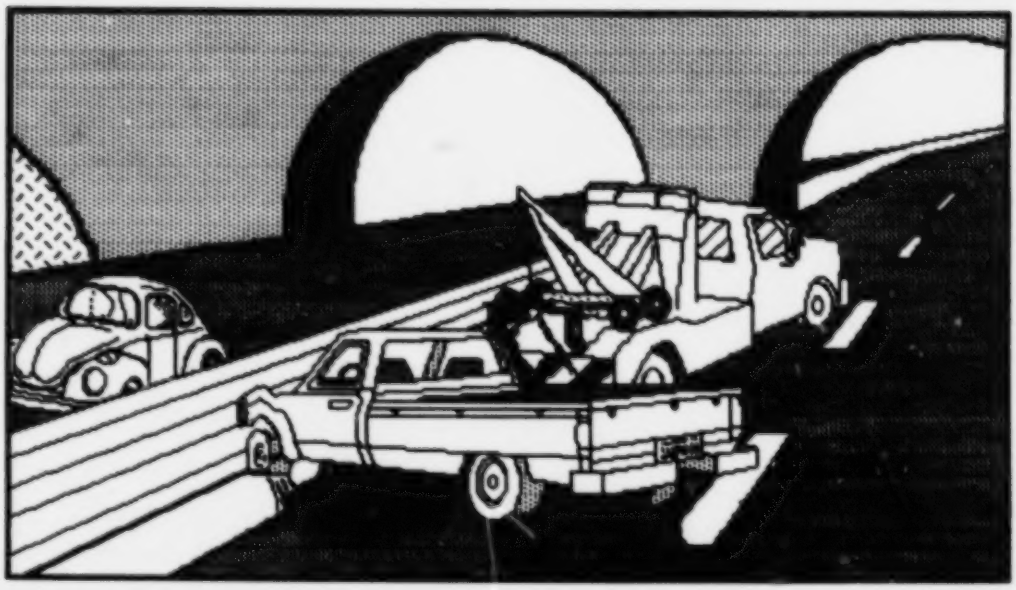


Figure 6a

6.1 Principes

Dès qu'un incident a été détecté et que la nature et la gravité en ont été vérifiées, il faut envoyer un véhicule de dépannage approprié sur les lieux pour apporter les secours voulus et dégager la voie.

Afin de réduire les délais d'intervention, les divers types de véhicules de secours peuvent être mis en circulation sur la voie aux heures de pointe, matin et soir. Ils peuvent alors remplir, en même temps, les fonctions de détection et de vérification d'incidents. Plus la détection, la vérification et l'intervention sont rapides, moins longs seront les retards occasionnés aux automobilistes et plus vite pourront être rétablies les conditions normales de circulation.

Les quatre principaux moyens de dépannage, soit :

- les patrouilles de secours routier,
- les voitures de police,
- les dépanneuses, et
- le matériel lourd de dépannage

sont présentés ci-dessous.

6.2 Techniques

Patrouilles de secours routier

Les véhicules de patrouille sont équipés pour venir en aide aux automobilistes dans les cas de problèmes mineurs. Par exemple, ils peuvent transporter :

a) quelques litres de carburant (essence, diesel) pour les véhicules en panne sèche;

b) des câbles volants pour recharger les batteries (figure 6b); et

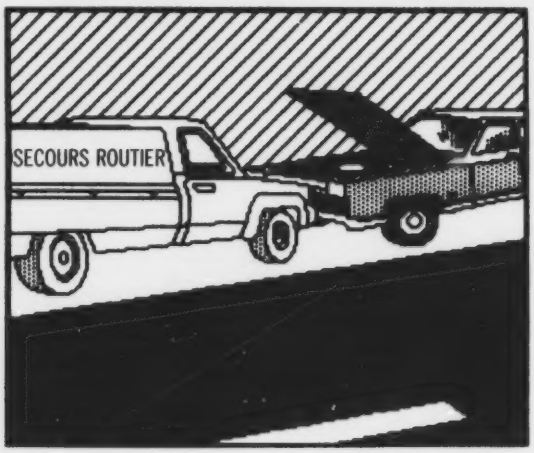
c) les outils nécessaires pour changer un pneu (cric, clé en croix, etc.).

Les avantages et les inconvénients des véhicules de patrouille comme moyen d'intervention sont énumérés à la figure 6c.

Voitures de police

Les voitures de police qui patrouillent sur les voies rapides peuvent être équipées pour venir en aide aux automobilistes en cas d'incidents mineurs. Elles peuvent aussi être pourvues d'un pare-chocs très résistant qui leur permettrait de pousser les voitures en panne sur l'accotement, afin de réduire au minimum les retards occasionnés aux autres usagers de la route (figure 6d). Les avantages et les inconvénients des voitures de police comme moyen d'intervention sont énumérés à la figure 6e.

Figure 6b
PATROUILLE DE SECOURS ROUTIER



Dépanneuses

Les services de dépanneuses sur les voies rapides devraient être organisés par sections de route (de longueur déterminée) en vue d'obtenir le délai d'intervention recherché. Un temps de déplacement de cinq minutes depuis le garage ou le poste d'attente jusqu'aux lieux de l'incident serait souhaitable (figure 6f).

Afin de déterminer s'il est plus rentable pour l'organisme gestionnaire de la voie d'exploiter son propre service de dépanneuses ou de le concéder à une entreprise privée, il faut tenir compte des facteurs suivants :

a) coût d'achat des véhicules;

b) rémunération des conducteurs;

c) frais généraux;

d) garage des véhicules remorqués; et

e) capacité d'intervenir dans un délai raisonnable.

Il y a également lieu de prévoir un nombre approprié de dépanneuses ordinaires et de dépanneuses lourdes, de sorte que, en cas d'incident, il soit possible de remorquer aussi bien les ensembles routiers lourdement chargés que les automobiles. Les avantages et les inconvénients des dépanneuses comme moyen d'intervention sont énumérés à la figure 6g.

Figure 6c

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES PATROUILLES DE SECOURS ROUTIER

Avantages
- Secours immédiat dans le cas de problèmes mineurs
- Remise en marche rapide des véhicules en difficulté
- Disponibilité régulière et assistance fréquente
- Constatation de la nature exacte de l'incident dès l'arrivée sur les lieux (peuvent être les premiers à détecter l'incident)
- Diminution des retards causés par la curiosité des autres automobilistes (grâce à la rapidité d'intervention)
- Perception d'un certain revenu, si l'exploitation du service de patrouille est concédée à une entreprise.

Inconvénients
- Coûts du matériel et du personnel (si le service de patrouille est exploité par l'organisme gestionnaire de la voie rapide)
- Impossibilité d'agir dans de nombreux cas.

Figure 6d
VOITURE DE POLICE DÉGAGEANT LA VOIE

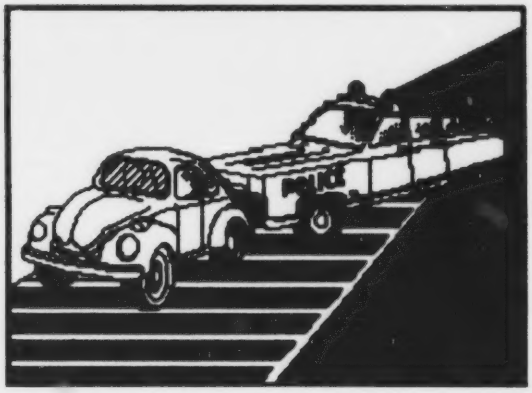


Figure 6f
DÉPANNEUSE

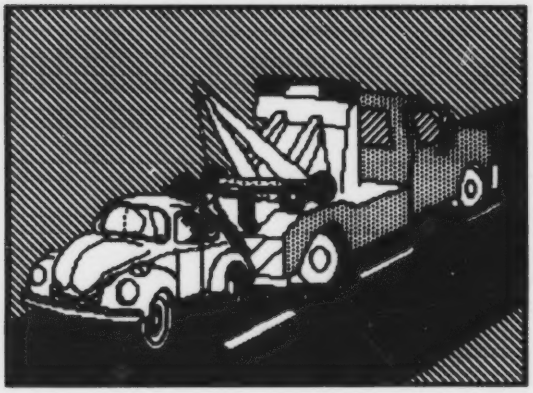


Figure 6e

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES VOITURES DE POLICE

Avantages
- Présence régulière des voitures de police sur l'autoroute
- Facilitation et plus grande sécurité du dépannage, vu la présence d'agents de police sur les lieux
- Constatation de la nature exacte de l'incident dès l'arrivée sur les lieux
- Disponibilité du réseau de communications existant (de la police)
- Déplacement des véhicules en panne (si la voiture de police est équipée d'un pare-chocs ultra-résistant).

Inconvénients
- Les fonctions principales de la police (mise en application de la réglementation) font passer le dépannage au deuxième plan
- Coût plus élevé que pour les autres moyens d'intervention.

Figure 6g

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES DÉPANNEUSES

Avantages
- Capacité d'intervenir dans presque tous les cas
- Frais peu élevés pour l'organisme gestionnaire de la voie rapide (si le service de dépannage est concédé à une entreprise).

Inconvénients
- Coût élevé d'achat et d'exploitation des dépanneuses (si l'organisme gestionnaire de la voie rapide exploite son propre service de dépannage)
- Si le service est assuré sous le régime de la concession, l'organisme gestionnaire doit en outre instituer un contrôle de la qualité et de la sécurité du service.

Matériel lourd de dépannage

Comme les accidents de poids lourds sont toujours possibles, il y a lieu de s'interroger sur la nécessité de prévoir du matériel lourd de dépannage. Celui-ci peut prendre plusieurs formes, depuis les grues mobiles de grandes dimensions jusqu'aux véhicules modifiés ou spécialement conçus. Les avantages et les inconvénients du matériel lourd de dépannage sont énumérés à la figure 6i.

Figure 6h
VÉHICULE LOURD DE DÉPANNAGE

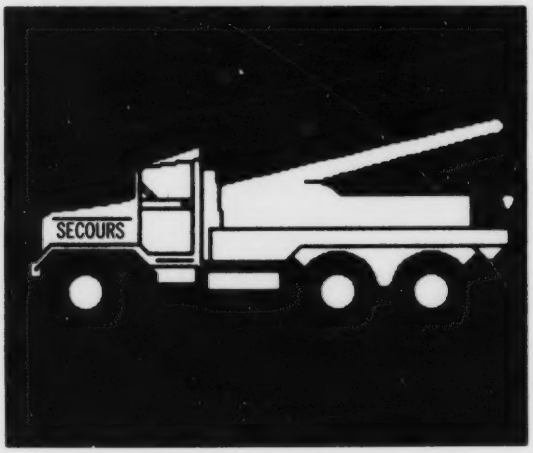


Figure 6i

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU MATÉRIEL LOURD DE DÉPANNAGE

Avantages
- Capacité d'intervenir même dans les cas les plus graves
- Intervention rapide.

Inconvénients
- Coût d'achat et d'exploitation du matériel extrêmement élevé
- Usage peu fréquent; en général, ne rapporte pas suffisamment pour couvrir les frais
- Convient surtout pour de courtes sections de route très fréquentées (ponts, tunnels, etc.).

6.3 Équipements

Les principaux éléments d'un système d'intervention/dépannage sont les véhicules et l'équipement qu'ils peuvent transporter (figure 6j).

Figure 6j
MATÉRIEL D'INTERVENTION

TYPES DE VÉHICULES	ÉQUIPEMENT
Patrouille de secours routier (Camionnette ou familiale)	Poste radio émetteur-récepteur Feux clignotants Cônes Torches Air comprimé Eau Essence Câbles volants Outils divers Trousse de premiers soins Cric Chaîne de remorquage
Voiture de police	Poste radio de police Feux clignotants Torches Trousse de premiers soins Pare-chocs ultra-résistant
Dépanneuse	Poste radio émetteur-récepteur Feux clignotants Cônes Torches Air comprimé Eau Essence Câbles volants Outils divers
Matériel lourd de dépannage	Poste radio émetteur-récepteur Feux clignotants Grues et treuils Équipement spécial pour les incidents majeurs

6.4 Coûts

Les coûts approximatifs des quatre moyens d'intervention considérés sont présentés à la figure 6k.

Figure 6k

COÛTS DES MOYENS D'INTERVENTION

ÉLÉMENT	COÛT ($)
Patrouilles de secours routier	
• Exploitées par l'organisme gestionnaire de la voie	16 000
— Véhicule	48 000 par année
— Conducteurs(1)	8 000 par année
— Entretien et exploitation	Nul
• Exploitées par une entreprise privée(2)	
Voitures de police	
• Voiture et agent(3)	55 000
Dépanneuses	
• Exploitées par l'organisme gestionnaire de la voie	20 000
— Véhicule	40 000 par année
— Conducteurs(4)	8 000 par année
— Entretien et exploitation	Nul
• Exploitées par une entreprise privée(2)	
Matériel lourd de dépannage	
• Exploité par l'organisme gestionnaire de la voie	100 000
— Matériel neuf	20 000
— Matériel modifié(5)	48 000 par année
— Conducteur	10 000 par année
— Entretien et exploitation	

Remarques :

(1) En supposant que le salaire annuel d'un conducteur soit d'environ 24 000 $. Pour assurer le service aux heures de pointe matin et soir, il faut prévoir au moins deux conducteurs par véhicule.

(2) Aucun frais si le service est exploité par une entreprise privée.

(3) En supposant un poste de huit heures par jour. Pour assurer un service permanent, il faut prévoir cinq agents par jour en raison des postes de travail, des vacances, etc. Ajouter au montant indiqué des frais généraux en proportion. Le prix d'un véhicule de police est établi à 10 000 $, sans compter l'équipement, et le traitement d'un agent, à 30 000 $ par année.

(4) En supposant deux conducteurs au salaire annuel de 20 000 $.

(5) En supposant qu'il s'agit d'un véhicule militaire modifié et équipé pour le remorquage.

6.5 Critères de choix

Pour déterminer lequel des divers moyens d'intervention considérés convient le mieux dans l'application particulière envisagée, on doit tenir compte de plusieurs facteurs ou critères de choix. La figure 6l les énumère sous forme de caractéristiques, souhaitables ou non, et indique les moyens auxquels ils s'appliquent.

Figure 6L

CRITÈRES DE CHOIX DES MOYENS D'INTERVENTION

CRITÈRES DE CHOIX	MOYENS D'INTERVENTION			
	Patrouilles de secours routier	Véhicules de police	Dépanneuses	Matériel lourd de dépannage
Performance				
• Ronde de surveillance régulière	✓	✓	✓	
• Vérification d'incidents	✓	✓	✓	
• Assistance aux automobilistes en difficulté	✓		✓	
• Intervention possible dans la plupart des cas			✓	✓
• Enlèvement possible des véhicules les plus lourds				✓
Type d'incident traité				
• Panne d'essence	✓	✓	✓	
• Crevaison	✓	✓	✓	
• Déplacement des véhicules en panne jusque sur l'accotement	✓	✓	✓	
• Remorquage des véhicules en panne			✓	✓
• Remorquage de gros camions et d'ensembles routiers				✓
• Enlèvement de gros obstacles sur la voie				✓

7.
SURVEILLANCE DES PONTS ET TUNNELS

Figure 7a

7.1 Principes

Les ponts et tunnels routiers sont parfois dotés de systèmes spéciaux de surveillance et de régulation composés d'équipements divers. Les tunnels Louis-H. Lafontaine et Ville-Marie à Montréal ainsi que les tunnels Lincoln et Holland sous la rivière Hudson à New York sont dotés de tels systèmes. Le Burlington Skyway en Ontario le sera bientôt; les travaux d'implantation sont en cours.

En raison de leurs coûts de construction très élevés, les ponts et les tunnels comportent souvent un plus petit nombre de voies que le reste de la route; de plus, ils sont souvent sans accotement où pourraient se ranger les véhicules en panne et où pourraient circuler les véhicules d'intervention. Par conséquent, lorsqu'un incident se produit, les problèmes de circulation se décuplent à cause :

- de la difficulté qu'ont les véhicules d'intervention à se rendre sur les lieux;
- du rétrécissement de la chaussée; et
- de l'impossibilité de dévier le trafic.

Pour pallier ce genre de problèmes, les plans des nouveaux ouvrages d'art prévoient, dans nombre de cas, l'installation d'un système spécial de surveillance et de régulation dès la construction de l'ouvrage. Un tel système assure une détection puis une confirmation d'incidents pratiquement instantanées et permet une intervention rapide, réduisant ainsi le temps perdu par l'ensemble des usagers.

7.2 Techniques

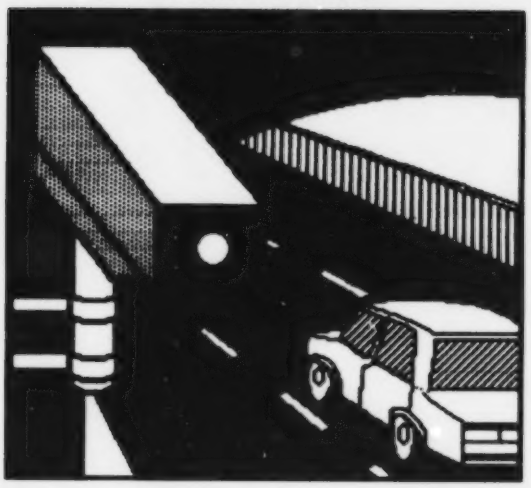
La longueur des ponts et des tunnels étant très courte comparativement à celle des autoroutes et des voies rapides elles-mêmes, il est généralement possible d'y installer un système complet de gestion de la circulation à un coût relativement faible. Dans bien des cas, l'organisme d'exploitation étant autonome, il peut aisément percevoir un péage pour couvrir ce coût.

Les divers moyens de surveillance et de régulation qui peuvent être mis en oeuvre sur les ponts et dans les tunnels sont décrits ci-dessous.

Télévision en circuit fermé

Des caméras de télévision peuvent être montées à intervalles plus ou moins rapprochés sur un pont ou dans un tunnel afin de détecter les incidents, puis en constater la nature, l'ampleur et le lieu exact (figure 7b). Dans plusieurs cas, un nombre égal d'écrans sont montés sur un mur du centre de commande en vue de permettre un contrôle permanent de l'ensemble de l'ouvrage. Mais il est également possible d'assurer le contrôle au moyen d'un seul appareil programmé ou commandé ponctuellement pour faire apparaître à l'écran le champ d'exploration de chacune des caméras en place successivement. L'opérateur n'a alors pas à surveiller plusieurs écrans de télévision à la fois.

Figure 7b
CAMÉRA DE TÉLÉVISION EN CIRCUIT FERMÉ



Un système combinant des détecteurs de présence à boucle d'induction pour la localisation de l'incident et des caméras pour sa vérification permet de ne mettre en oeuvre simultanément que les seules caméras couvrant le secteur concerné. On peut aussi monter d'autres caméras aux extrémités de l'ouvrage pour contrôler les paramètres de la circulation à l'amont et à l'aval. Les avantages et les inconvénients de la télévision en circuit fermé pour la surveillance des ponts et des tunnels sont énumérés à la figure 7c.

Boucles d'induction

Sur les ponts et dans les tunnels, les détecteurs de présence à boucle d'induction sont généralement placés à intervalles plus rapprochés que sur les sections courantes de l'autoroute pour accélérer les processus de détection et d'intervention. Les avantages et les inconvénients de ce procédé sont énumérés à la figure 7d.

Présence accrue de la police

Une autre solution possible consisterait à augmenter la surveillance par la police aux heures de pointe. Les agents pourraient être postés aux points sensibles et communiquer par radio avec le centre de commande (figure 7e). Dans certains tunnels, des véhicules spécialement conçus pour circuler sur les passerelles de service (figure 7f), permettent à un agent de se déplacer en toute sécurité et dans le meilleur délai jusqu'au lieu de l'incident afin de diriger la circulation. Ailleurs, on a tout simplement augmenté le nombre d'agents de police surtout aux heures de pointe du matin et du soir. Ceux-ci sont postés à l'intérieur du tunnel ainsi qu'à l'entrée et à la sortie. Les avantages et les inconvénients de cette méthode sont énumérés à la figure 7g.

Figure 7c

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA TÉLÉVISION EN CIRCUIT FERMÉ

Avantages
- Visualisation de l'incident au centre de commande
- Coût relativement faible par rapport à une installation semblable sur les sections courantes de l'autoroute
- Temps d'intervention réduit.

Inconvénients
- Entretien plus fréquent dans les tunnels : les gaz d'échappement encrassent les caméras
- Supports antivibratoires pour les caméras sur les ponts.

Figure 7d

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES DÉTECTEURS DE PRÉSENCE PLACÉS À INTERVALLES RAPPROCHÉS

Avantages

- Réduction du temps de détection
- Réduction du temps global d'intervention
- Entretien et réparation moins pressants à cause de la proximité des détecteurs.

Inconvénients

- Possibilité d'interférence causée par les éléments métalliques du pont.

Figure 7e

CABINE DE SURVEILLANCE D'UN TUNNEL

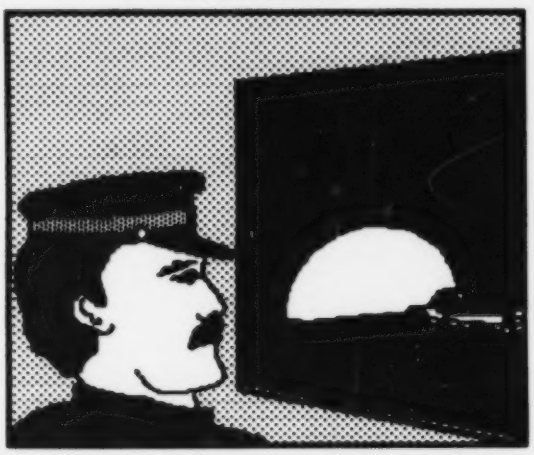


Figure 7f

VÉHICULE CIRCULANT SUR UNE PASSERELLE DE SERVICE

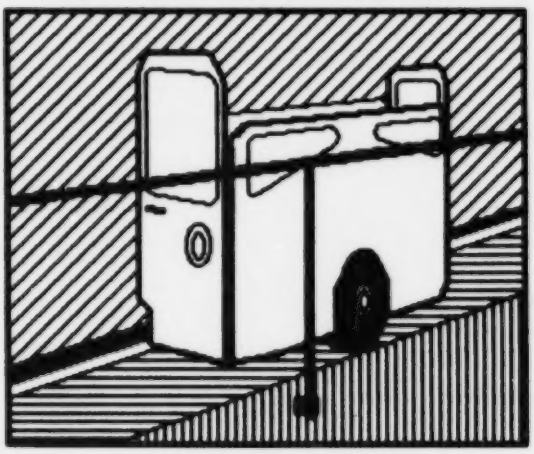


Figure 7g

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS D'UNE PRÉSENCE ACCRUE DE LA POLICE

Avantages

- Intervention plus efficace
- Respect accru des limites de vitesse recommandées
- Assurance d'un secours immédiat en cas de panne ou d'urgence
- Pouvoir de faire respecter la réglementation routière
- Réduction des délais d'intervention (ainsi que du nombre d'agents requis) grâce aux véhicules circulant sur les passerelles de service.

Inconvénients

- Augmentation des coûts de main-d'oeuvre
- Aménagements spéciaux nécessaires (cabines ou autres) pour la protection des agents.

Véhicules de dépannage

Plusieurs organismes d'exploitation de ponts et de tunnels ont commencé à poster des véhicules de dépannage à l'entrée et à la sortie de l'ouvrage durant les périodes de pointe (figure 7h), afin de pouvoir intervenir rapidement en cas d'incidents et de rétablir le plus vite possible les conditions normales de circulation. Certains de ces véhicules sont spécialement conçus pour remorquer les ensembles routiers. L'intervention se fait souvent à partir de la sortie du pont ou du tunnel, c'est-à-dire à contre-courant, lorsque la circulation est complètement bloquée par l'incident. Les avantages et les inconvénients de poster des véhicules de dépannage en attente sont énumérés à la figure 7i.

Figure 7h
VÉHICULE DE DÉPANNAGE
En attente à l'entrée ou à la sortie de l'ouvrage d'art

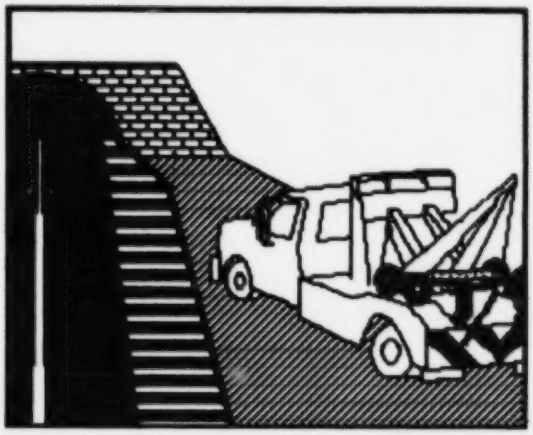


Figure 7i

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES VÉHICULES DE DÉPANNAGE

Avantages
- Délai d'intervention réduit
- Temps global d'intervention réduit : les conditions normales de circulation sont vite rétablies.

Inconvénients
- Nécessité d'un personnel plus nombreux
- Coût d'achat des véhicules (si le service est exploité par l'organisme gestionnaire de la voie).

Régulation par voies et signalisation variable

La régulation par voies au moyen de signaux particuliers placés au-dessus de chacune des voies permet d'inverser les sens de circulation aux heures de pointe. Une croix rouge interdit de s'engager sur une voie et une flèche verte pointant vers le bas indique que l'accès est permis (figure 7j). La régulation par voies permet également de faire entrer les véhicules d'intervention en sens contraire à la circulation pour se rendre sur les lieux de l'incident. On a aussi utilisé divers systèmes de signalisation variable afin d'empêcher les encombrements sur les ponts et dans les tunnels, notamment :

- en faisant arrêter les véhicules à l'entrée de façon à régler le débit;
- en affichant des limites de vitesse et en avertissant des conditions de circulation sur l'ouvrage (figure 7k).

Les avantages et les inconvénients de ces procédés sont énumérés à la figure 7L.

Permanence du personnel de surveillance

Un grand nombre de tunnels situés à la périphérie du centre des affaires dans les grandes villes sont surveillés en permanence (24 heures par jour, 7 jours par semaine) par un personnel possédant la formation et l'expérience voulues pour assurer la gestion du trafic et traiter tous les genres d'incidents et de situations d'urgence possibles. Cette permanence coûte cher, mais elle est hautement souhaitable dans les corridors toujours très fréquentés qui écoulent des trafics de natures diverses (déplacements domicile-travail, loisirs, magasinage, tourisme, etc.). Pour optimiser l'efficacité des interventions, il faut que les centres de commande des ponts et tunnels voisins soient reliés par un réseau de communication permettant, en cas d'incident, de détourner le trafic.

Figure 7j
SIGNAUX D'AFFECTATION DE VOIES

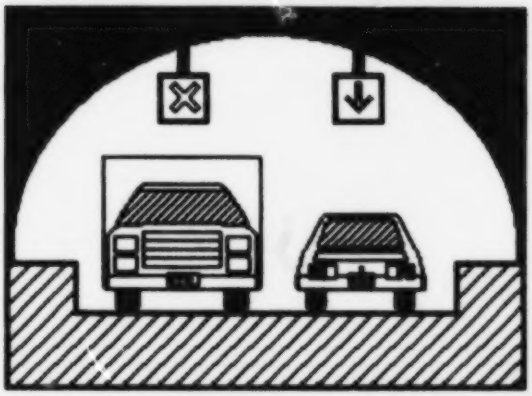


Figure 7k
PANNEAU DE SIGNALISATION VARIABLE

Figure 7L

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA RÉGULATION PAR VOIES ET DE LA SIGNALISATION VARIABLE

Avantages

- Possibilité d'inverser le sens de la circulation suivant les besoins de façon à utiliser au maximum la capacité disponible
- Informations en temps réel concernant les conditions de la circulation et les vitesses à respecter
- Possibilité de favoriser les véhicules à taux d'occupation élevé.

Inconvénients

- Coûts d'implantation non négligeables du système de signalisation variable
- Coûts d'exploitation et d'entretien pour assurer la régulation et un service d'intervention permanents
- Utilité limitée aux cas d'intervention (une fois que la circulation à écouler est à peu près la même dans les deux sens).

Équipements spéciaux

En plus des moyens de surveillance et d'intervention mentionnés ci-dessus, les ponts et tunnels peuvent être pourvus d'équipements spéciaux servant à :

- avertir les automobilistes de ne pas s'engager; et à
- empêcher les véhicules de s'engager.

Sur les piles d'un pont on a placé des détecteurs sismiques destinés à déclencher une alarme dans le cas où un bateau viendrait se heurter à une pile. Sur un autre pont, on a installé des barrières spéciales afin d'en interdire l'accès aux véhicules en cas de danger (par exemple, collision d'un bateau avec une des piles du pont).

7.3 Équipements

Les principaux éléments d'un système de télévision en circuit fermé sont les suivants :

- caméras de télévision montées sur le pont ou à l'intérieur du tunnel ainsi qu'à l'entrée et à la sortie;
- accessoires, y compris un mécanisme de rotation et de pointage;
- écrans de télévision au centre de commande;
- appareils périphériques (magnétoscopes); et
- équipement de transmission reliant les appareils en place au centre de commande (câbles coaxiaux ou liaisons par faisceaux hertziens).

Les principaux éléments d'un système de détection automatique sont les suivants :

- détecteurs (boucles d'induction ou autres) placés à environ 240 à 360 m d'intervalle;
- amplificateurs (un amplificateur peut desservir jusqu'à quatre boucles sur des voies séparées);
- boîtier pour loger les amplificateurs et les équipements de communication;
- réseau de transmission pour relier les appareils en place au centre de commande; et
- centre de traitement où les données, prétraitées ou non, sont traitées par ordinateur pour déterminer les paramètres caractéristiques du trafic.

Les principaux éléments d'un système de surveillance reposant sur une présence accrue de la police sont les suivants :

- agents de police équipés de postes radio émetteurs-récepteurs;
- équipement de communications au centre de commande;
- cabines (pour la protection des agents) sur le pont ou dans le tunnel; et
- véhicules spécialement conçus pour circuler sur les passerelles de service des ponts et tunnels.

Les principaux éléments d'un système de dépannage sont les suivants :

- dépanneuses et conducteurs postés en attente à l'entrée ou à la sortie du pont ou du tunnel aux heures de pointe;
- dépanneuses spéciales pour l'enlèvement des ensembles routiers; et
- postes radio émetteurs-récepteurs permettant de communiquer avec le centre de commande.

Les principaux éléments d'un système de régulation par voies et de signalisation variable sont :

- signaux d'affectation de voies;
- panneaux à indications variables;
- armoires pour loger les équipements en place;
- liaison entre les équipements en place et le centre de commande; et
- équipements de contrôle et de commande au centre de commande.

Pour assurer la permanence de la surveillance, il faut prévoir :

- un nombre accru d'employés qualifiés.

Les équipements de surveillance spéciaux placés sur les ponts et dans les tunnels comprennent :

- détecteurs sismiques placés sur les piles des ponts;
- barrières spéciales pour empêcher les véhicules de s'engager dans une section dangereuse du pont ou du tunnel;
- armoires pour loger les équipements en place et les interfaces de communication; et
- liaison entre les équipements en place et le centre de commande.

7.4 Coûts

Les principaux coûts reliés aux divers éléments des systèmes de surveillance des ponts et tunnels ont été précisés dans les chapitres suivants :

- Télévision en circuit fermé — Chapitre 5 : Confirmation d'incidents;
- Boucles d'induction — Chapitre 4 : Détection d'incidents;
- Présence accrue de la police — Chapitre 5 : Confirmation d'incidents;

  Le coût des voitures de police équipées de postes radio émetteurs-récepteurs, la rémunération des agents et le coût de l'équipement de communication au centre de commande de la police sont indiqués au chapitre 5. Aucune donnée précise n'a pu être obtenue concernant le coût des véhicules spécialement conçus pour circuler sur les passerelles de service, celui-ci étant fonction dans chaque cas des caractéristiques du pont ou du tunnel;
- Véhicules de dépannage — Chapitre 6 : Intervention/Dépannage;
- Signaux d'affectation de voies et panneaux à indications variables — Chapitre 10 : Signalisation d'information;
- Permanence de la surveillance — Les coûts varieront en fonction du nombre d'employés et de leur expérience. Les traitements approximatifs de trois groupes principaux d'employés sont :

  — agent de police — 30 000 $/année
  — technicien — 12 000 $/année
  — ingénieur — 40 000 $/année

Aux endroits où les postes de travail pour une classification donnée sont de 8 heures, il faudra prévoir 5 personnes de cette classification pour assurer la permanence, en tenant compte des postes de travail, des vacances, etc. Dans le calcul du coût global de la surveillance permanente, il faudra ajouter aux traitements indiqués ci-dessus des frais généraux en proportion;

- Équipements spéciaux — Aucune donnée précise n'est disponible concernant le coût de ces équipements. Celui-ci dépendra en grande partie de la longueur de l'ouvrage à équiper, ainsi que de la catégorie, de la sensibilité, du nombre et de l'emplacement des dispositifs utilisés.

7.5 Critères de choix

Pour déterminer laquelle des diverses méthodes de surveillance considérées convient le mieux dans l'application particulière envisagée, on doit tenir compte de plusieurs facteurs ou critères de choix. La figure 7m les énumère sous forme de caractéristiques, souhaitables ou non, et indique les méthodes auxquelles ils s'appliquent.

Figure 7m

CRITÈRES DE CHOIX DES MÉTHODES DE SURVEILLANCE DES PONTS ET TUNNELS

CRITÈRES DE CHOIX	MÉTHODES DE SURVEILLANCE					
	Télévision en circuit fermé	Boucles de détection	Présence accrue de la police	Véhicules de dépannage	Signaux d'affectation de voies et panneaux à indications variables	Permanence du personnel
Détection d'incidents						
• détection automatique des incidents	—	✓	—			
• nécessité des patrouilles régulières	—	—	✓			
• possibilité de vérification	✓	—	✓			
• nécessité d'un réseau de transmission	✓	✓	—			
• besoin éventuel d'un nombre supplémentaire de véhicules ou d'équipement spécial	—	—	✓			
Intervention						
• Personnes présentes pouvant intervenir			✓	✓	—	✓
• Possibilité d'interdire l'accès aux voies			✓	—	✓	—
• Pouvoir de faire respecter les mesures de régulation			✓	—	—	—
• Enlèvement des véhicules en panne ou ayant subi un accident			—	✓	—	—
• Nécessité d'un personnel plus nombreux			✓	✓	—	✓

8.
RÉGULATION DES ACCÈS

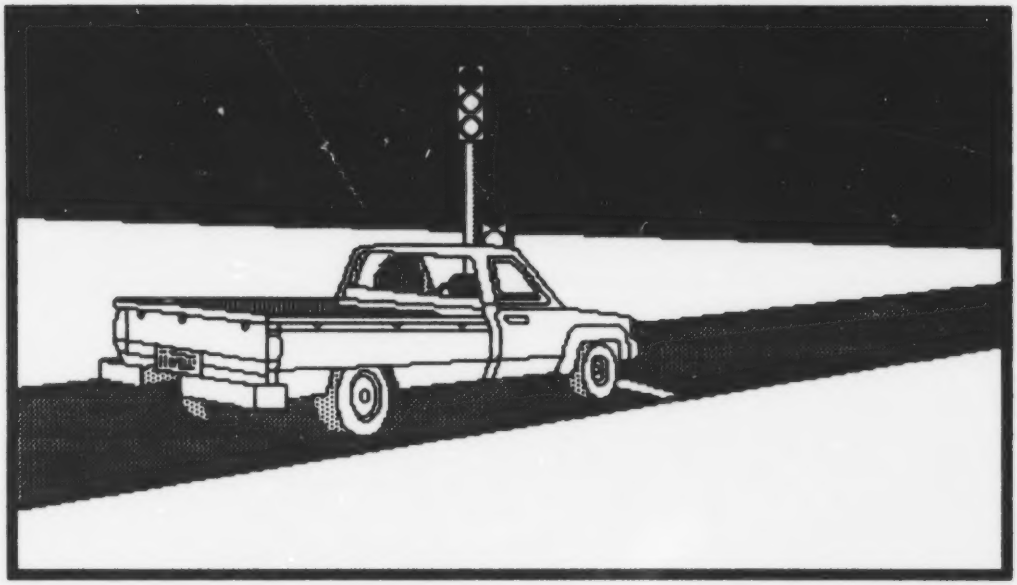


Figure 8a

8.1 Principes

Il nous arrive parfois d'être pris dans un courant de circulation qui progresse lentement et par à-coups, apparemment gêné par un incident en aval. Mais, à mesure que l'on avance, la vitesse de circulation augmente et on ne constate aucun incident. Une telle situation se produit souvent sur les autoroutes à l'approche des bretelles d'accès, lorsque le nombre des automobilistes voulant y entrer est supérieur à la capacité d'accueil de cette voie.

Il est souvent possible de réguler la circulation sur une autoroute par le contrôle d'accès. Le dosage du trafic admis permet de maintenir la fluidité sur les sections courantes de l'autoroute et, souvent, de réduire de façon considérable les encombrements qui ne sont dus qu'au nombre de véhicules accédant à l'autoroute par les bretelles (pour venir occuper un créneau dans le courant principal) et au rabattement vers la gauche des véhicules sur l'autoroute, à l'approche des bretelles d'accès. Le contrôle d'accès permet en outre aux véhicules admis de venir s'intégrer au courant principal plus aisément et en plus grande sécurité.

Il existe à l'heure actuelle trois principaux modes de régulation des débits d'admission :

- la régulation par cycle fixe;
- la microrégulation (régulation adaptative locale); et
- la macrorégulation (régulation adaptative globale).

8.2 Techniques

Régulation à cycle fixe

La régulation s'effectue au moyen d'un feu implanté sur la bretelle et fonctionnant selon un cycle prédéterminé en fonction de données historiques sur la demande de circulation et la capacité de l'autoroute. Dans la plupart des cas, le cycle de fonctionnement du feu varie selon l'heure, de façon à optimiser l'écoulement du trafic aux heures de pointe du matin et du soir; il peut aussi varier selon le jour de la semaine.

Les avantages et les inconvénients de la régulation à cycle fixe sont énumérés à la figure 8b.

Microrégulation (régulation adaptative locale)

En mode de microrégulation, le cycle du feu de circulation à chaque accès est constamment calculé pour tenir compte de la situation au voisinage de l'accès. Lorsque les détecteurs indiquent que le trafic est très dense sur l'autoroute, le cycle de fonctionnement du feu de circulation est automatiquement réglé afin que les véhicules stockés sur la bretelle attendent plusieurs secondes avant de pouvoir accéder à l'autoroute. De même, lorsque le trafic sur l'autoroute est faible, le feu de circulation est réglé pour n'imposer aux véhicules qu'un arrêt court avant de pouvoir s'engager sur l'autoroute. Les cycles de fonctionnement sont établis à partir de mesures instantanées des paramètres du trafic sur l'autoroute, du nombre de véhicules en attente sur la bretelle et de la capacité de la section d'autoroute concernée.

Les avantages et les inconvénients de la microrégulation sont énumérés à la figure 8c.

Macrorégulation (régulation adaptative globale)

La macrorégulation calcule les cycles de fonctionnement des feux de toutes les bretelles d'accès, compte tenu de la situation sur l'ensemble du réseau, pour optimiser l'écoulement du trafic.

Ce mode de fonctionnement exige que l'équipement de régulation des bretelles soit relié à un ordinateur central.

Les avantages et les inconvénients de la macrorégulation sont énumérés à la figure 8d.

Figure 8b

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA RÉGULATION À CYCLE FIXE

Avantages

- Implantation possible sur une seule bretelle
- Possibilité d'intégrer plusieurs bretelles dans un seul système de régulation
- Simplicité du système
- Diminution des encombrements et des pertes de temps (par rapport à l'absence totale de régulation).

Inconvénients

- Ne tient pas compte de la situation réelle sur l'autoroute :
  - le cycle de fonctionnement des feux n'est pas réglé pour tenir compte des fluctuations sporadiques du trafic
  - le débit d'admission est régulé même lorsque ce n'est pas nécessaire (faible circulation)
- Ne tient pas compte des encombrements sporadiques (causés par des incidents, des travaux d'entretien ou de construction, etc.).

Figure 8c

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA MICRORÉGULATION

Avantages

- Implantation possible sur une seule bretelle
- Possibilité d'intégrer plusieurs bretelles dans un seul système de régulation
- Tient compte de la situation réelle sur l'autoroute
- Tient compte des encombrements sporadiques (causés par des incidents, des travaux d'entretien ou de construction, etc.).

Inconvénients

- Exige un plus grand nombre de détecteurs sur les sections courantes de l'autoroute pour mesurer les paramètres du trafic en amont et en aval des accès
- Exige des équipements plus complexes que la régulation à cycle fixe.

Figure 8d

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA MACRORÉGULATION

Avantages

- Optimisation de la fluidité sur l'autoroute (grâce à une régulation adaptative à chaque accès)
- Tient compte de la situation réelle sur toute la longueur d'autoroute régulée
- Tient compte des encombrements sporadiques (causés par des incidents, des travaux d'entretien ou de construction, etc.).

Inconvénients

- Exige des équipements plus complexes que la régulation à cycle fixe et la microrégulation
- Nécessite un réseau de transmission reliant les équipements de régulation des bretelles à l'ordinateur central
- Nécessite un ordinateur central pour analyser les mesures instantanées et calculer les cycles de fonctionnement des feux à chacun des accès
- Coût plus élevé que pour la régulation à cycle fixe et la microrégulation.

8.3 Équipements

Les principaux équipements à mettre en place pour la régulation d'un accès sont les suivants :

- feux de circulation sur la bretelle;
- détecteurs de trafic;
- panneaux de signalisation;
- régulateur;
- équipement de transmission; et
- ordinateur central.

Les quatre premiers éléments sont requis pour la régulation à cycle fixe et pour la microrégulation. La microrégulation exige en plus des détecteurs supplémentaires sur l'autoroute pour mesurer les paramètres du trafic en temps réel. Les équipements de transmission et l'ordinateur central sont nécessaires pour la macrorégulation.

On utilise le plus souvent des feux de régulation bicolores (rouge et vert), mais parfois aussi des feux tricolores (rouge, jaune et vert). On en implante deux sur chaque bretelle, de la façon suivante :

- un feu monté sur socle de chaque côté de la bretelle,
- deux feux montés à différentes hauteurs sur un seul poteau implanté du côté gauche de la bretelle (figure 8e). La figure 8f illustre un signal à feux clignotants servant à avertir que l'accès est régulé.

Figure 8e

FEU DE RÉGULATION D'ACCÈS TYPIQUE

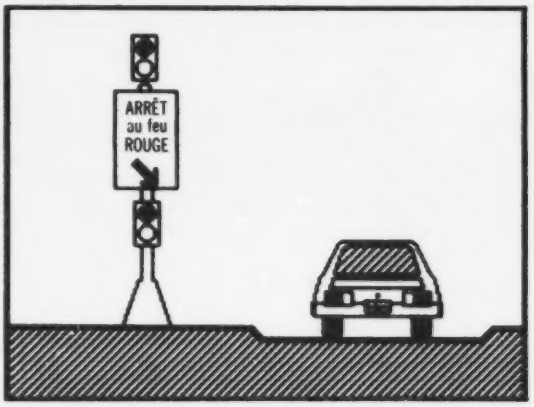
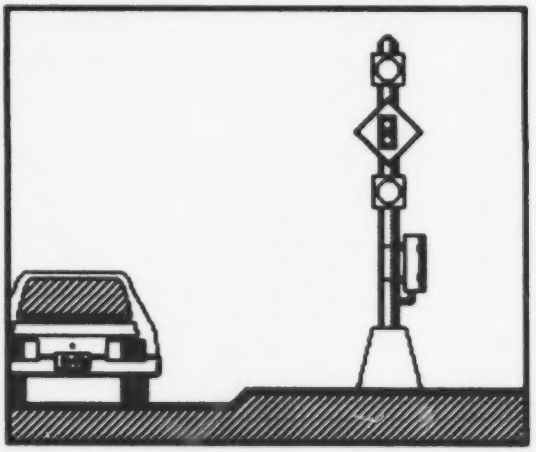


Figure 8f

SIGNAL À FEU CLIGNOTANT

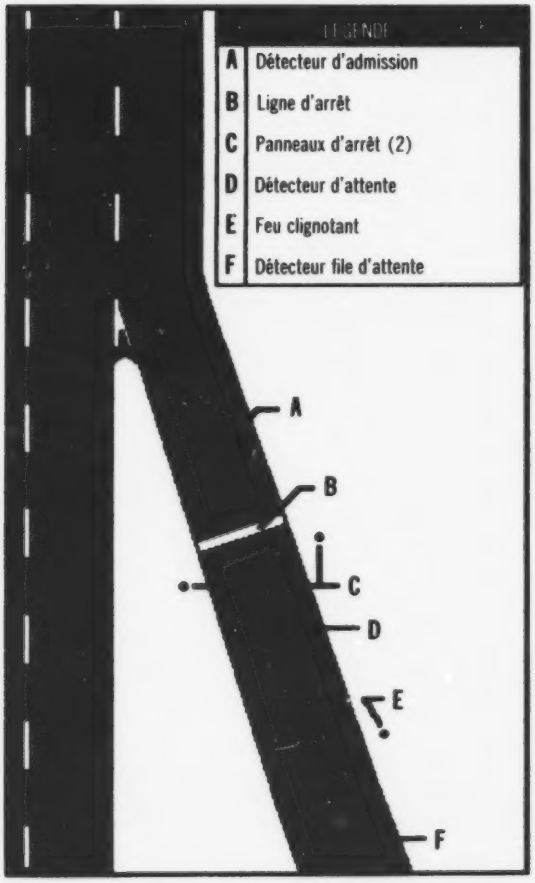


Les accès régulés sont généralement équipés des trois détecteurs à boucle d'induction décrits ci-dessous (voir figure 8g) :

- Un détecteur de présence placé juste devant la ligne d'arrêt — à l'arrivée d'un véhicule, il réagit sur les feux de régulation;
- Un détecteur de présence placé juste après la ligne d'arrêt — il empêche la réapparition du feu vert avant le passage du dernier véhicule admis;
- Un détecteur de file d'attente placé à l'entrée ou à l'approche de la bretelle d'accès — il réagit sur les feux de régulation pour augmenter le débit d'admission lorsque la file d'attente refoule sur le réseau de surface.

Les régulateurs peuvent être soit à semi-conducteur, soit à microprocesseur type 170.

Figure 8g
SCHÉMA D'UNE BRETELLE D'ACCÈS RÉGULÉE



La signalisation sur les bretelles d'accès peut comporter :

a) un panneau d'annonce de feux (avec ou sans feux clignotants) pour avertir les usagers que l'accès est régulé;

b) un panneau d'arrêt placé vis-à-vis la ligne d'arrêt, de sorte que le détecteur puisse enregistrer la présence du véhicule.

8.4 Coûts

La figure 8h donne quelques indications sur les coûts d'implantation, sur une bretelle, des systèmes de régulation à cycle fixe, de microrégulation et de macrorégulation.

8.5 Critères de choix

Pour déterminer laquelle des diverses techniques de régulation des accès considérées convient le mieux dans l'application particulière envisagée, on doit tenir compte de plusieurs facteurs ou critères de choix. La figure 8i les énumère sous forme de caractéristiques, souhaitables ou non, et pointe les techniques auxquelles ils s'appliquent.

Figure 8h

COÛTS APPROXIMATIFS DES SYSTÈMES DE RÉGULATION D'ACCÈS

ÉQUIPEMENT	RÉGULATION À CYCLE FIXE	MICRO-RÉGULATION	MACRO-RÉGULATION
	$	$	$
• Détecteurs			
— Bretelle	1 000*	1 600[3]	1 600[3]
— Section courante	—	1 600[3]	1 600[3]
• Feux (2, bicolores)	1 000	1 000	1 000
• Poteaux et fondations (2)**	3 000	3 000	3 000
• Régulateur			
— à semi-conducteur, avec boîtier	3 500	3 500	3 500
— à microprocesseur 170, avec boîtier	4 000	4 000	4 000
• Canalisation (60 $/m)	420[7 m]	2 000[33 m]	2 000[33 m]***
• Boîtes de tirage (500 $ chacune)	500[1]	1 000[2]	1 000[2]***
• Panneaux de signalisation			
— Arrêt	400	400	400
— Panneau d'annonce de feux	400	400	400
— Panneau d'annonce de feux avec feux clignotants	2 500	2 500	2 500

Remarques :

* Dans le cas d'un système de gestion intégrée, ces coûts peuvent être imputés, respectivement, à la surveillance électronique des sections courantes de l'autoroute et au réseau de transmission.

** Le coût d'un poteau portant deux feux à placer du côté gauche de la bretelle serait de 1 500 $, fondation comprise.

*** Le coût des équipements de transmission, canalisations et boîtes de tirage sur les sections courantes de l'autoroute où viennent se greffer les bretelles n'est pas compris.

Figure 8i

CRITÈRES DE CHOIX DES SYSTÈMES DE RÉGULATION

CRITÈRES DE CHOIX	SYSTÈMES DE RÉGULATION		
	À cycle fixe	Adaptatif local	Adaptatif global
Schéma du réseau			
• Bretelle unique	✓		✓
• Plusieurs bretelles très espacées	✓	✓	
• Plusieurs bretelles rapprochées	✓	✓	✓
• Un grand nombre de bretelles	✓	✓	✓
Taux d'admission			
• Établi selon l'heure et le jour à partir de données historiques	✓	✓	✓
• Tient compte des conditions réelles de circulation sur l'autoroute		✓	✓
• Tient compte des encombrements sporadiques (causés par des accidents, des travaux d'entretien, etc.)		✓	✓
Modalité d'admission			
• Un seul véhicule à la fois	✓	✓	✓
• Plusieurs véhicules à la fois	✓	✓	✓

9.
PRIORITÉ AUX VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ

Figure 9a

9.1 Principes

Certains corridors autoroutiers sont aménagés pour favoriser les véhicules transportant plusieurs passagers. Cette mesure a pour but d'augmenter le rendement de l'autoroute en termes de personnes transportées plutôt que de véhicules écoulés. Le calcul du débit de tels corridors tient généralement compte des artères principales du réseau de surface (et non seulement de l'autoroute même).

Cette approche constitue un changement fondamental dans les principes de gestion du trafic. Tant pour des raisons d'ordre socio-économique que du point de vue de la gestion du trafic, on estime que la circulation aux heures de pointe devrait être rendue plus facile aux véhicules à taux d'occupation élevé parce que, à nombre égal de créneaux occupés dans le courant de circulation, ils transportent un plus grand nombre de personnes que les véhicules sans passager.

Ce principe est considéré si valable par ses promoteurs qu'il a donné lieu à des mesures concrètes visant à diminuer le temps de parcours des véhicules à taux d'occupation élevé (notamment, limite de vitesse plus élevée que pour les véhicules sans passager) dans l'espoir d'encourager le covoiturage et le recours aux transports en commun (voir figure 9a).

Les principaux moyens employés pour favoriser les véhicules à taux d'occupation élevé sont les suivants :

- construction de routes ou de voies spéciales pour les véhicules à taux d'occupation élevé;
- voies réservées aux véhicules à taux d'occupation élevé;
- construction ou affectation de voies d'accès ou de bretelles complètes à l'usage exclusif des véhicules à taux d'occupation élevé;
- construction ou affectation de terrains de stationnement à l'usage des véhicules à taux d'occupation élevé en priorité; et
- priorité aux autobus aux feux de circulation.

9.2 Techniques

Construction de routes ou de voies spéciales

La construction de routes ou de voies spéciales pour les véhicules à taux d'occupation élevé peut revêtir diverses formes (voir figures 9b et 9c) :

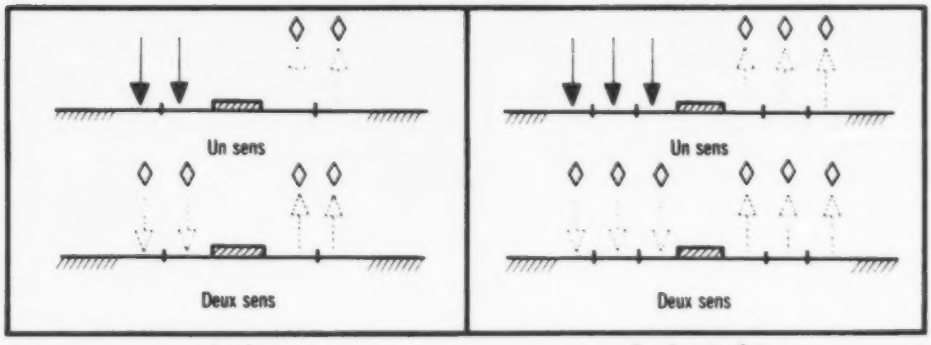
- construction d'une autoroute destinée à l'usage exclusif des véhicules à taux d'occupation élevé durant les heures de pointe;
- construction d'une route pour autobus; par exemple : une avenue à deux voies réservée aux autobus et, peut-être, aux autres véhicules transportant plusieurs passagers (voitures, camionnettes, taxis collectifs, etc.); et
- construction de voies réversibles à l'usage exclusif des véhicules à taux d'occupation élevé entre les deux chaussées existantes d'une autoroute.

Soulignons que la construction d'un nouvel ouvrage exige une importante immobilisation de capitaux et de nouveaux frais d'entretien substantiels, sans compter qu'elle entraîne une importante consommation d'énergie sous formes directe et indirecte. Toutefois, l'investissement initial et les frais d'entretien peuvent, dans bien des cas, être récupérés par le biais des économies réalisées d'année en année sur les coûts d'exploitation des véhicules. On peut même dire qu'il en est toujours ainsi lorsque la seule autre solution possible est de construire un ouvrage plus important, à l'usage de toutes les catégories de véhicules (ce qui donne généralement une augmentation du nombre de véhicules sans passager). On peut parfois réduire l'investissement initial en construisant l'ouvrage sur l'emprise d'une voie ferrée ou d'une ligne de transport d'électricité. Les avantages et les inconvénients des voies construites exclusivement pour les véhicules à taux d'occupation élevé sont énumérés à la figure 9d.

Voies réservées

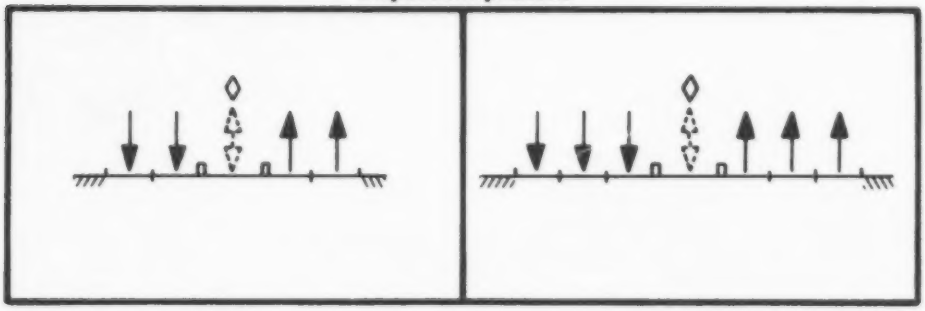
La réservation de voies aux véhicules à taux d'occupation élevé sur les chaussées autoroutières existantes peut se faire de deux façons :

Figure 9b
VOIES SPÉCIALEMENT CONSTRUITES POUR LES VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ
Dispositions possibles



4 voies | 6 voies et plus

Figure 9c
VOIE MÉDIANE RÉSERVÉE AUX VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ
Dispositions possibles



5 voies | 6 voies et plus

Figure 9d

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES VOIES CONSTRUITES EXCLUSIVEMENT POUR LES VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ

Avantages

- Efficacité des voies autoroutières existantes nullement affectée
- Vitesses de circulation plus élevées et plus uniformes
- Réduction du temps de parcours
- Augmentation du nombre de personnes transportées
- Sécurité accrue, du fait que les deux catégories de véhicules en question sont séparées
- Facilitation de la mise en application de la réglementation
- Durée utile prolongée
- Réduction des coûts d'exploitation des véhicules.

Inconvénients

- Investissement élevé
- Coût d'entretien supplémentaire
- Délai considérable pour la planification, la conception et la réalisation
- Utilisation peu fréquente en dehors des heures de pointe.

- sur la chaussée supportant la circulation la plus dense (figures 9e à 9i); et
- à contresens sur la chaussée supportant la circulation la plus faible (figures 9j à 9n).

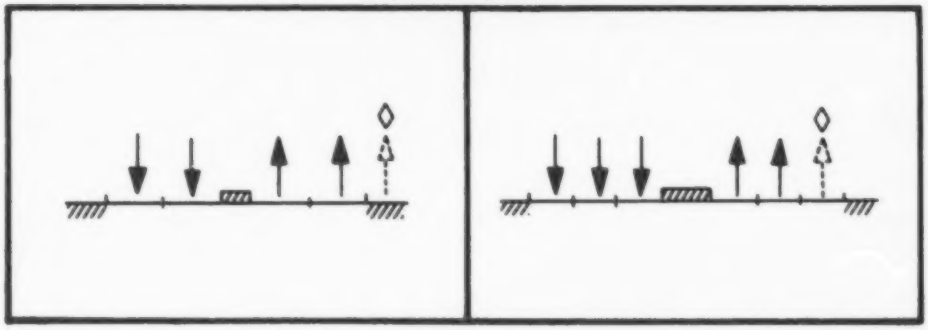
Dans le premier cas, la voie réservée aux véhicules à taux d'occupation élevé est désignée par un panneau à indications variables et délimitée par des marques sur la chaussée (hachures à la peinture réfléchissante souhaitables sur au moins 30 m). On peut réserver la voie de droite ou de gauche. Cette mesure doit, dans tous les cas, être appuyée par un programme de sensibilisation du public lancé en temps opportun et une mise en vigueur systématique, y compris l'application d'amendes dissuasives en cas d'infraction.

On réserve une voie à contre-courant lorsque le trafic aux heures de pointe n'est pas aussi intense dans les deux sens de circulation ou que les chaussées ne comportent pas un nombre suffisant de voies dans chaque sens pour en réserver une dans celui de la circulation la plus dense. Cette mesure présente l'avantage net de réduire le temps de parcours des véhicules à taux d'occupation élevé sans pour autant pénaliser les usagers dans le sens prédominant de la circulation. Lorsqu'on envisage d'inverser le sens de circulation d'une voie, on doit prendre toutes les mesures de sécurité voulues pour éviter les accidents. Il faut également tenir compte, le cas échéant, du coût de la mise en place et de l'enlèvement des cônes de séparation des deux courants contraires de circulation sur la même chaussée.

Figure 9e

VOIE DE DROITE RÉSERVÉE

Dispositions possibles



5 voies
(utilisation de l'accotement)

6 voies et plus

Figure 9f
VOIE DE DROITE RÉSERVÉE
Signalisation et marquage

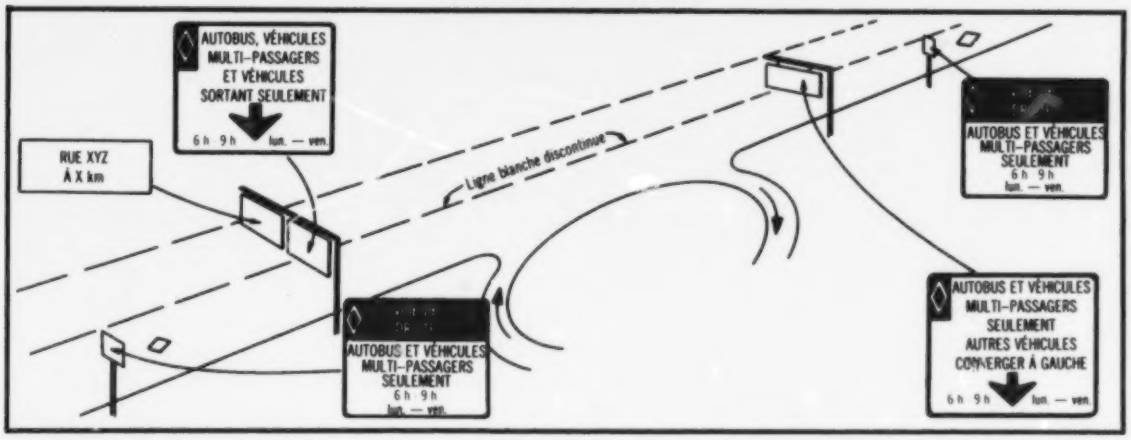
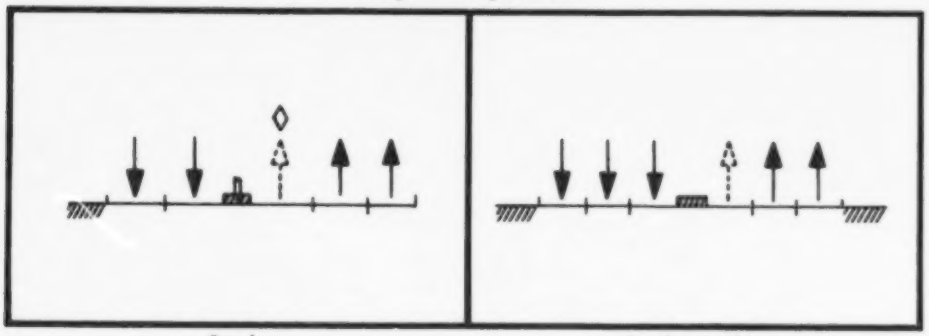


Figure 9g
VOIE DE GAUCHE RÉSERVÉE
Dispositions possibles



5 voies

6 voies et plus

Figure 9h
VOIE DE GAUCHE RÉSERVÉE
Signalisation et marquage

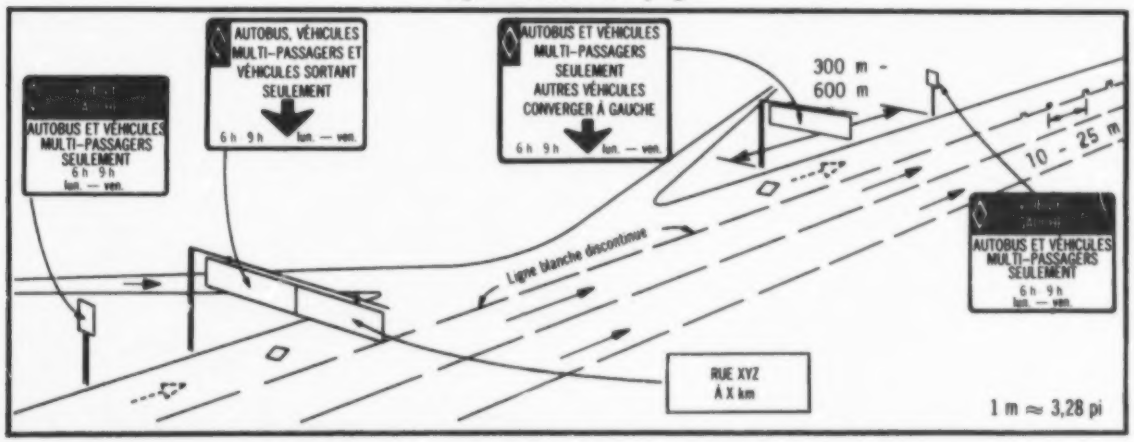


Figure 9i

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES VOIES EXISTANTES RÉSERVÉES, DANS LE SENS DE LA CIRCULATION

Avantages

- Investissement initial relativement peu élevé
- Facilité d'implantation (sur le plan matériel)
- Augmentation du nombre de personnes transportées
- Temps de parcours réduit pour les véhicules à taux d'occupation élevé
- Coûts d'exploitation réduits pour les véhicules à taux d'occupation élevé
- Incitation au covoiturage et à l'utilisation des transports en commun (les voies ouvertes aux véhicules sans passager étant du fait devenues plus encombrées)
- Augmentation moins rapide du nombre de véhicules sans passager
- Accessibles aux véhicules sans passager en dehors des heures de pointe (et dans le sens de la circulation la moins dense).

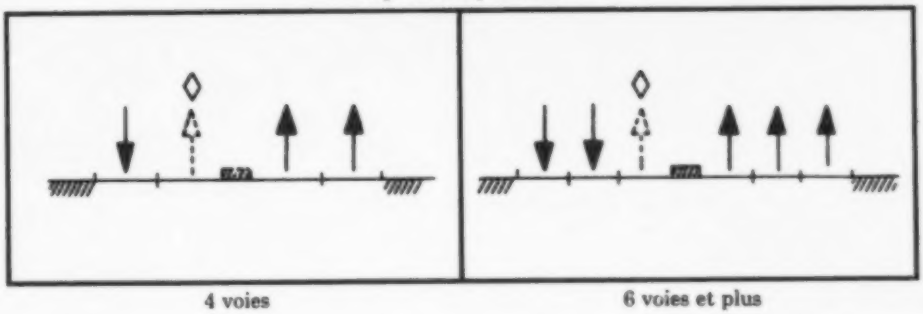
Inconvénients

- Efficacité des autres voies réduite (jusqu'à ajustement des périodes d'utilisation par les véhicules sans passager et percée suffisante des transports en commun)
- Véhicules sans passager pénalisés
- Mise en vigueur difficile (difficulté de faire ranger les véhicules en infraction; nécessité de modifier les règlements de sanctionnement des contrevenants)
- Difficulté de mettre en oeuvre au bon moment un programme réellement efficace de sensibilisation du public et d'assurer le suivi.

Figure 9j

VOIE INTÉRIEURE À CONTRESENS

Dispositions possibles



4 voies | 6 voies et plus

Figure 9k

VOIE INTÉRIEURE À CONTRESENS

Signalisation et marquage

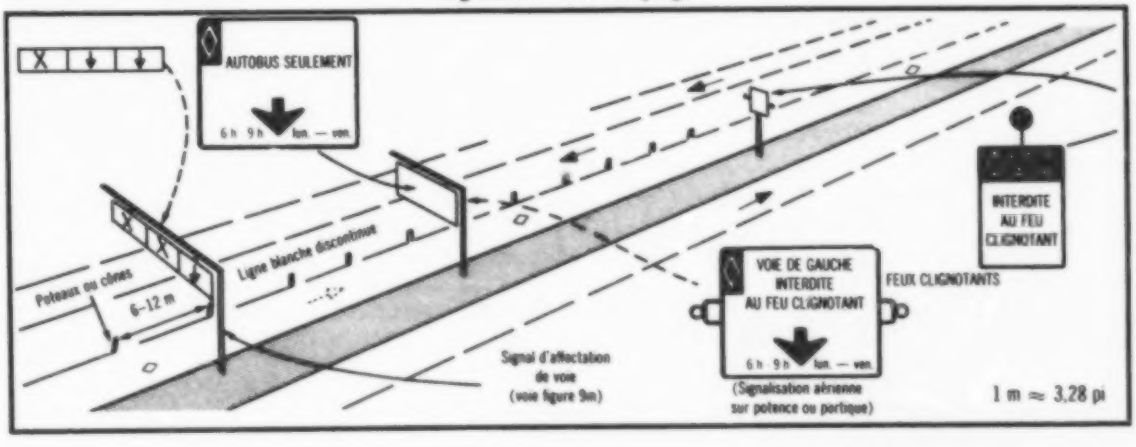


Figure 9L
VOIE INTÉRIEURE À CONTRESENS
Disposition souhaitable

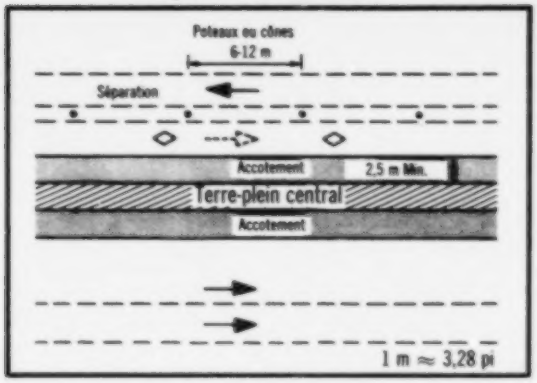


Figure 9m
VOIE INTÉRIEURE À CONTRESENS
Signaux d'affectation de voies

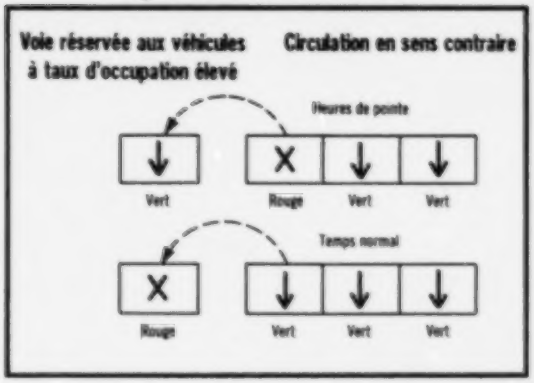


Figure 9n

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE VOIES EXISTANTES RÉSERVÉES, À CONTRESENS

Avantages
- Augmentation du nombre de personnes transportées
- Capacité accrue dans le sens de la circulation la plus dense (grâce à l'utilisation de la capacité résiduelle dans le sens inverse)
- Investissement initial relativement peu élevé
- Implantation généralement facile (sur le plan matériel)
- Temps de parcours et coûts d'exploitation réduits pour les véhicules à taux d'occupation élevé.

Inconvénients
- Possibilité d'encombrement dans le sens le moins circulé (écoulement perturbé par un incident quelconque)
- Coût d'exploitation élevé
- Risque de collisions frontales à des vitesses élevées
- Nécessité de modifier le terre-plein central
- Danger possible si les conducteurs de véhicules particuliers transportant des passagers n'ont pas reçu une formation appropriée (et éprouvée par un examen)
- Procédés d'intervention spéciaux nécessaires en cas d'incidents.

Priorité sur les bretelles

La priorité peut être accordée aux véhicules de transport en commun et autres véhicules multipassagers sur les bretelles d'entrée et de sortie des autoroutes, en particulier aux heures de pointe du matin et du soir. Il y a deux façons courantes de favoriser les véhicules à taux d'occupation élevé (figures 9o à 9s) :

- voie réservée aux véhicules à taux d'occupation élevé sur la bretelle d'entrée, leur permettant d'éviter les feux de régulation; et
- bretelle d'entrée ou de sortie à l'usage exclusif des véhicules à taux d'occupation élevé (en ville).

Si la chaussée est assez large, la réservation d'une voie aux véhicules à taux d'occupation élevé peut être matérialisée par des marques sur la chaussée. Dans le cas contraire, il faut élargir la bretelle existante ou en construire une nouvelle. On favorise de même les véhicules à taux d'occupation élevé aux postes de péage en en réservant un à leur usage. À certains endroits, le poste réservé aux véhicules à taux d'occupation élevé est même équipé d'un dispositif automatique d'identification des véhicules grâce auquel le péage peut être facturé directement au service de transport, sans que les conducteurs aient besoin d'arrêter. Dans un cas comme dans l'autre, on évite aux véhicules à taux d'occupation élevé les attentes en file.

En ville, on peut réserver des bretelles à l'usage exclusif des véhicules à taux d'occupation élevé, notamment certaines bretelles de sortie aux heures de pointe du matin. On peut améliorer ainsi le rendement de l'autoroute sur le plan du nombre de personnes transportées.

Figure 9o
PRIORITÉ SUR LES BRETELLES
Dispositions possibles

Voie non régulée

Bretelle à l'usage exclusif des véhicules à taux d'occupation élevé

Figure 9p
BRETELLES AVEC VOIE NON RÉGULÉE

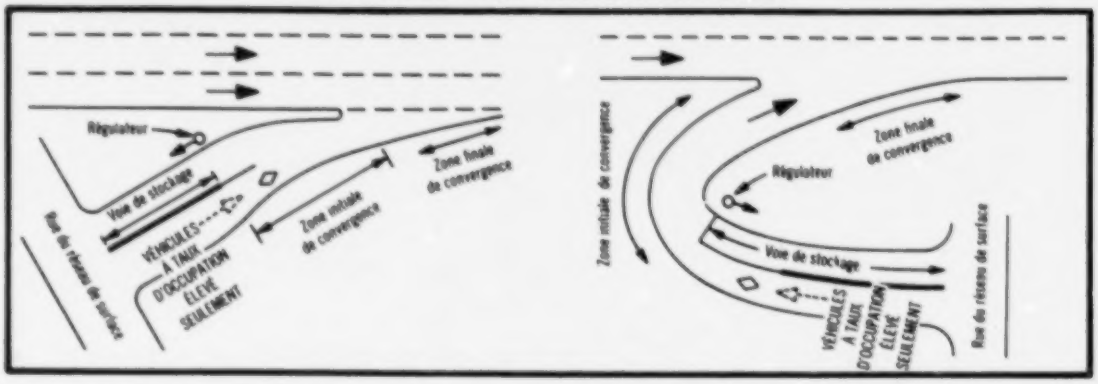


Figure 9q
BRETELLES À L'USAGE EXCLUSIF DES VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ

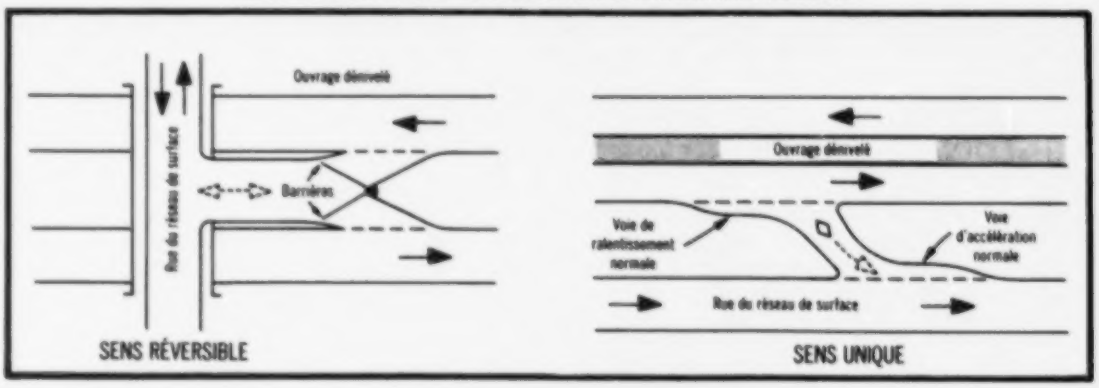


Figure 9r

PRIORITÉ SUR LES BRETELLES

Signalisation et marquage

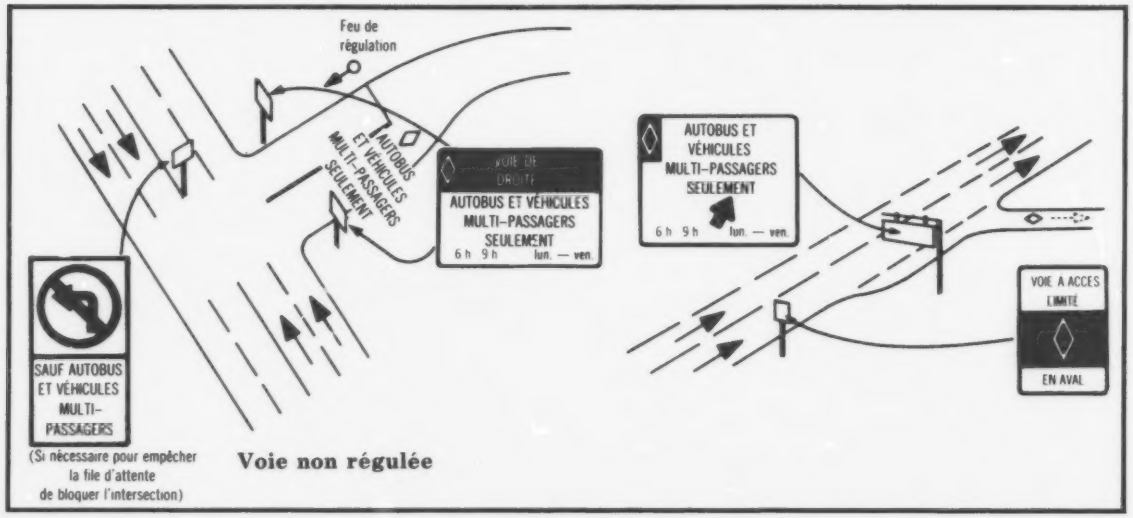


Figure 9s

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES BRETELLES À L'USAGE PRIORITAIRE OU EXCLUSIF DES VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ

Avantages

- Augmentation du nombre de personnes transportées
- Gain de temps pour la grande majorité des usagers
- À la longue, incitation pour les véhicules à taux d'occupation élevé
- Réglementation plus facile à faire respecter en raison des vitesses peu élevées
- Investissement initial et coûts d'exploitation peu élevés.

Inconvénients

- Les véhicules à taux d'occupation élevé ne peuvent pas éviter les encombrements sur les sections courantes de l'autoroute (à moins qu'un nombre suffisant de bretelles leur soient réservé ou qu'un système préférentiel global ne soit implanté)
- Temps de parcours accru pour les véhicules sans passager
- Difficulté possible d'élargir les bretelles en zones urbaines, à cause de la présence d'autres voies, de murs de soutènement ou de bâtiments
- Encombrement du réseau de surface dans le voisinage des accès dû au fait que les files d'attente de véhicules sans passager seront plus longues.

Priorité dans les terrains de stationnement

La réservation de places de stationnement aux véhicules à taux d'occupation élevé est un élément capital de tout train de mesures favorisant les véhicules à taux d'occupation élevé sur les autoroutes. Elle se concrétise de deux façons :

- aménagement de terrains non supervisés, en périphérie, à proximité des échangeurs de raccordement aux grandes artères du réseau de surface (figures 9t et 9u); et
- affectation à l'usage exclusif des véhicules à taux d'occupation élevé d'un ou de plusieurs stationnements municipaux ou autres à proximité des zones à forte concentration d'emplois, auxquels les véhicules sans passager n'auraient pas accès, du moins aux heures de pointe du matin, soit de 6 h à 10 h.

Les avantages et les inconvénients de la réservation de places de stationnement aux véhicules à taux d'occupation élevé sont énumérés à la figure 9v.

Figure 9t

EMPLACEMENT DES STATIONNEMENTS ET ARRÊTS DES VÉHICULES DE TRANSPORT EN COMMUN

Périphérie d'une zone fortement circulée

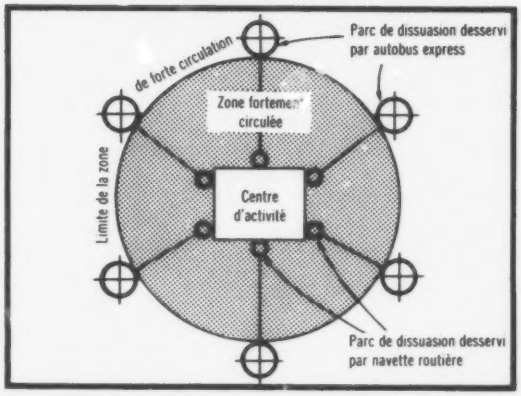


Figure 9u

EMPLACEMENT DES STATIONNEMENTS ET ARRÊTS DES VÉHICULES

Échangeur

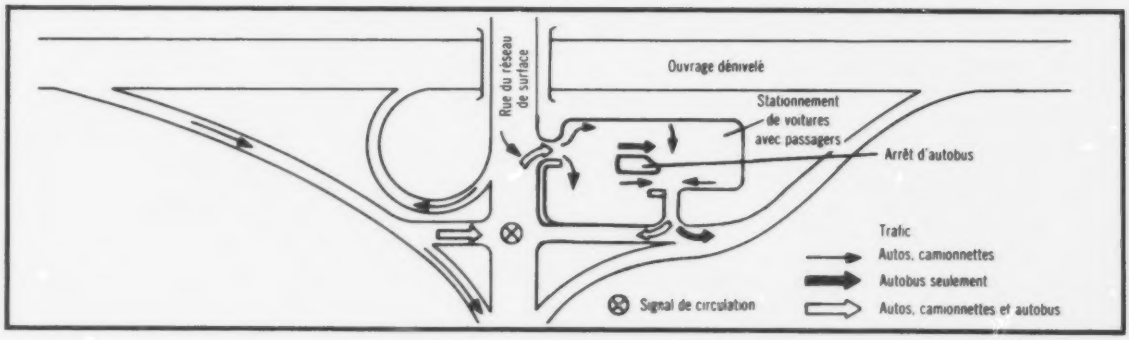


Figure 9v

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES AIRES DE STATIONNEMENT RÉSERVÉES EN PARTIE OU EN TOTALITÉ AUX VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ

Avantages

- Investissement initial très faible et frais supplémentaires d'exploitation très peu élevés (notamment, pour la mise en vigueur) lorsqu'on utilise des stationnements existants en zone urbaine commerciale
- Augmentation moins rapide de la demande aux heures de pointe (à mesure que le covoiturage et les transports en commun gagnent la faveur du public)
- Augmentation du nombre de personnes transportées sur l'autoroute comme sur certaines artères du réseau de surface
- Les stationnements périphériques peuvent servir également de lieux de rendez-vous pour les personnes voyageant ensemble à destination de villes voisines
- Incitation à utiliser les transports en commun - les stationnements pour véhicules sans passager étant plus éloignés, donc la distance à parcourir à pied plus longue.

Inconvénients

- Investissement considérable s'il faut acquérir du terrain de grande valeur commerciale
- Investissement initial plus ou moins élevé et frais d'entretien annuels pour la plupart des terrains en bordure des grandes villes
- Nécessité de prévoir des patrouilles régulières dans certains stationnements périphériques pour prévenir le vandalisme et les vols
- Difficulté d'établir une tarification judicieuse des stationnements dans les grands centres d'affaires urbains (par exemple, à partir de combien de passagers doit-on considérer qu'il s'agit d'un véhicule de covoiturage?).

Priorité aux feux de régulation

Les véhicules de transport en commun (autobus et tramway) peuvent être équipés d'un émetteur spécial agissant sur un récepteur correspondant placé dans le boîtier de commande de certains feux de régulation choisis et permettant aux conducteurs de commander l'apparition ou la prolongation du feu vert pour éviter d'attendre (figures 9w et 9x).

La ville d'Edmonton utilise des feux de priorité d'une autre couleur que le vert afin d'éviter toute confusion. Le Comité n° 120 du Council on Uniform Control Devices est en train de rédiger un document sur cette approche.

Les feux du réseau de surface ainsi équipés sont ceux qui donnent accès aux bretelles et aux voies de surface de l'autoroute où les véhicules à taux d'occupation élevé ont priorité. L'implantation d'un tel système est généralement limité au centre des affaires des villes et aux zones voisines, où le réseau régulé est déjà fortement circulé.

Figure 9w
PRIORITÉ AUX FEUX DE CIRCULATION
Situation possible

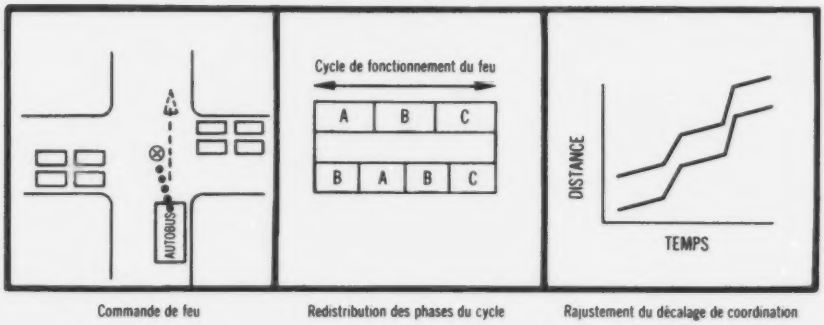


Figure 9x

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA PRIORITÉ AUX FEUX DE CIRCULATION

Avantages
- Réduction du temps perdu en arrêts pour les véhicules de transport en commun
- Augmentation du nombre de personnes pouvant transiter aux intersections spécialement équipées
- Réduction des coûts d'exploitation des véhicules de transport en commun
- Temps de parcours réduit des véhicules de transport en commun entre l'autoroute et le réseau de surface et vice versa.

Inconvénients
- Retards causés aux usagers des axes transversaux
- Complexité accrue des systèmes de régulation coordonnés (peut entraîner une diminution du rendement-véhicules global)
- Coûts difficiles à justifier dans le cas de carrefours faiblement circulés en périphérie des grandes villes.

9.3 Équipements

Les principaux équipements à mettre en place pour créer un système de priorité aux véhicules à taux d'occupation élevé sont énumérés à la figure 9y.

Figure 9y

ÉQUIPEMENTS D'UN SYSTÈME DE PRIORITÉ AUX VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ

MESURES	ÉQUIPEMENTS
Voies construites spécialement pour les véhicules à taux d'occupation élevé	• Matériaux de fondation et de revêtement • Signaux de circulation et équipement de commande • Marques sur la chaussée • Équipements secondaires (glissières, dispositifs de séparation, etc.)
Voies existantes réservées aux véhicules à taux d'occupation élevé	
a. dans le sens de la circulation	• Marques sur la chaussée et panneaux de signalisation • Panneaux à indications variables et équipement de commande • Aires pour faire ranger les véhicules en infraction
b. à contresens	• Voie de raccordement entre les deux chaussées • Cônes et logements d'ancrage dans la chaussée • Marques sur la chaussée et panneaux de signalisation • Panneaux à indications variables et équipement de commande • Véhicules pour la mise en place et l'enlèvement des cônes • Moyens de formation des conducteurs de véhicules particuliers transportant des passagers
Priorité sur les bretelles	
a. Voie non régulée (chaussée suffisamment large)	• Marques sur la chaussée • Signaux de circulation et équipement de commande
b. Voie non régulée (élargissement de la chaussée)	• Matériaux pour élargissement de la chaussée • Marques sur la chaussée et panneaux de signalisation • Panneaux à indications variables et équipement de commande
c. Bretelles à l'usage exclusif des véhicules à taux d'occupation élevé	• Marques sur la chaussée et panneaux de signalisation • Panneaux à indications variables et équipement de commande
Stationnements réservés aux véhicules à taux d'occupation élevé	
a. Terrains et garages existants	• Panneaux de signalisation
b. Nouveaux aménagements	• Matériaux pour aménagement d'un terrain de stationnement ou construction d'un garage • Panneaux de signalisation • Marques sur la chaussée
Priorité aux feux de circulation	• Émetteurs à bord des véhicules de transport en commun • Récepteurs dans les armoires de commande des feux de circulation • Interface dans l'armoire de commande des feux

9.4 Coûts

La figure 9z donne quelques indications sur les coûts d'implantation d'un système de priorité aux véhicules à taux d'occupation élevé.

9.5 Critères de choix

La décision d'implanter une mesure quelconque favorisant les véhicules à taux d'occupation élevé doit être prise en tenant compte de la configuration du réseau ainsi que la demande de circulation le concernant. La figure 9zz indique quelles mesures peuvent être appliquées compte tenu de la situation et des conditions d'exploitation considérées. Ces données sont fournies à titre purement indicatif et ne saurait en aucun cas remplacer le bon jugement des ingénieurs du trafic routier.

Remarque concernant les figures du présent chapitre :
Les figures 9b, c, e, f, g, h, j, k, l, m, n, o, p, q, r, t, u et w sont tirées d'un document intitulé : "High Occupancy Vehicle Facility Development — Operation and Enforcement", rédigé en avril 1982 par J.H.K. and Associates pour le compte de la FHWA du ministère des Transports des États-Unis.

Figure 9z

COÛTS APPROXIMATIFS RELIÉS À UN SYSTÈME DE PRIORITÉ AUX VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ

MESURES	COÛTS ($)
Voie construite spécialement pour les véhicules à taux d'occupation élevé	1,5 – 3 millions/km
Voie réservée dans le sens de la circulation	2300 – 8000/km
Voie réservée à contresens(1)	3000 – 170 000/km
Voie d'accès non régulée(1)	3000 – 50 000/bretelle
Stationnement réservé(2)	1000 – 2000/place
Priorité aux feux de circulation	
— Équipement supplémentaire de régulation	3000/intersection
— Équipement embarqué	1500/autobus

Remarques :

(1) Le coût le moins élevé (3000 $) ne s'applique qu'au marquage de la chaussée. Les plus élevés (170 000 $ et 50 000 $) incluent le marquage de la chaussée, l'implantation de panneaux à indications variables ainsi que la mise en place et l'enlèvement quotidiens de cônes de séparation.

(2) Il est souvent possible de louer des terrains de stationnement existants à peu de frais (par exemple, terrains d'églises ou places sur le terrain d'un centre commercial).

Figure 9zz

CRITÈRES DE CHOIX DES MESURES FAVORISANT LES VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ

	MESURES FAVORISANT LES VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ							
	OUVRAGES CONSTRUITS SPÉCIALEMENT POUR LES VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉ		VOIES RÉSERVÉES DANS LE SENS DE CIRCULATION		VOIES RÉSERVÉES À CONTRESENS	PRIORITÉ SUR LES BRETELLES	PRIORITÉ DANS LES STATIONNEMENTS	PRIORITÉ AUX FEUX DE CIRCULATION
CRITÈRES DE CHOIX	Route séparée	Voie réversible entre les chaussées existantes	Voie de droite	Voie intérieure	Voie intérieure			
Disposition								
• Route séparée	✓							
• Terre-plein central suffisamment large		✓						
• Voie à contresens					✓			
• Voie dans le sens de la circulation			✓	✓				
• Modifications des bretelles			✓			✓		
Travaux de conception	Minimum	Important	Moyen	Minimum	Moyen	Moyen	Moyen	Minimum
Efficacité	Élevé	Élevé	Faible	Moyen	Élevé	Moyen	Moyen	Moyen
• Amélioration du rendement passagers	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Conditions de circulation	Bon	Bon	Passable	Passable	Passable	Bon	Bon	Bon
• Autobus express	✓	✓	✓	✓				✓
• Autobus local sans aire d'arrêt								✓
• Autobus local avec aires d'arrêt		✓	✓					✓
• Capacité réduite de l'autoroute			✓	✓				
• Risque de collisions frontales à des vitesses élevées					✓			
Mise en vigueur	Facile	Facile	Difficile	Difficile	Facile	Facile	Facile	Facile
Coût	Moyen	Élevé	Faible	Faible	Moyen	Faible	Faible	Faible
Réaction du public (conducteurs des véhicules sans passager)								
• Négative			✓	✓				
• Favorable	✓	✓			✓		✓	✓

10. SIGNALISATION D'INFORMATION

Figure 10a

10.1 Principes

Lorsqu'il se trouve pris dans un embouteillage, les premières questions que se pose l'automobiliste sont les suivantes :

- Quelle est la cause de cet embouteillage et où se situe l'incident?
- Combien de temps serai-je pris dans cet embouteillage?
- Où suis-je rendu exactement et y a-t-il un autre itinéraire possible pour éviter cette situation?
- Les conditions de circulation sont-elles meilleures sur le réseau de surface?
- Pourquoi n'avons-nous pas été informés de cette situation avant de nous engager sur cette section de route (nous aurions pu dès lors envisager un autre itinéraire)?

La signalisation variable sert à transmettre aux usagers de la route des informations sur les conditions de circulation pour leur permettre de prévoir de façon plus précise leur temps de parcours (afin de réduire au minimum les causes d'irritation) et rendre chaque trajet le plus sûr possible.

Les informations sont transmises par signalisation fixe ou variable, ou par radio (voir chapitre 11).

Pour que le système d'information demeure crédible aux yeux des usagers, les informations transmises doivent refléter la situation du moment même et être le plus précises possible. Il y va en fait du succès de l'entreprise lorsque ce système fait partie intégrante du programme global de gestion de l'autoroute.

Justification

La communication avec les usagers de la route est nécessaire pour les raisons suivantes :

1) Régulation du trafic et prévention des encombrements :
   - Information concernant la circulation sur l'autoroute et traitement des incidents;
   - Information en cas d'événements extraordinaires;
   - Régulation de la vitesse.
2) Mise en garde contre des conditions dangereuses :
   - Mauvaises conditions atmosphériques;
   - Mauvais état de la chaussée.

3) Régulation lors de travaux de construction ou d'entretien :
   - Avertissement;
   - Régulation de la vitesse;
   - Déviations et affectation de voies.
4) Affectation des voies :
   - Voies réversibles;
   - Voies réservées;
   - Voies prioritaires.

Détournement du trafic et itinéraires recommandés

Lorsqu'il se trouve pris dans un embouteillage sur l'autoroute, l'automobiliste se demande s'il ne pourrait pas parvenir à sa destination par un autre itinéraire. Dans les cas où une voie du réseau de surface longe l'autoroute, il peut même constater si le trafic y est plus fluide, ce qui, le cas échéant, peut être très contrariant.

Les objectifs visés par le délestage sont les suivants :

- répartir la demande (normale) de circulation aux heures de pointe en fonction de la capacité propre des diverses routes concurrentes d'un corridor de circulation donné;
- réduire au minimum les retards occasionnés sur l'ensemble du corridor par un incident survenu sur l'autoroute;
- réduire au minimum les retards occasionnés sur l'ensemble du corridor par des travaux de construction ou d'entretien sur l'autoroute;
- réduire dans tous les cas les causes d'irritation pour les usagers.

Une fois que l'autoroute et les routes concurrentes sont équipées de systèmes de détection d'incidents, il est possible de transformer un système d'information des usagers utilisant la signalisation variable et le radioguidage en un système global de délestage. Il suffit d'informer les usagers, par affichage sur panneaux à indications variables et par radio, quant au meilleur itinéraire à emprunter pour rejoindre leur destination ou éviter un embouteillage ou un incident.

Il y a lieu d'insister sur le fait que les opérations de délestage ne peuvent réussir que si les voies du réseau concurrent sont également équipées pour la détection des incidents. Seulement alors peut-on contrôler les conditions de circulation sur ces voies et s'assurer, avant d'y acheminer le trafic de l'autoroute, qu'elles peuvent l'absorber.

Les diverses modalités du délestage sont brièvement décrites ci-dessous.

Points de délestage

Les points de délestage sont les endroits sur l'autoroute où l'usager peut soit continuer tout droit, soit emprunter un autre itinéraire et parvenir à un même point où les routes se rejoignent de nouveau. Par exemple, une grande route traversant une ville peut comporter une bifurcation ou un croisement qui permettent de contourner celle-ci. Ou encore, une autoroute traversant une ville séparée par un cours d'eau franchissable à plusieurs endroits, l'automobiliste ayant le choix, pour rejoindre une destination de l'autre côté du cours d'eau, d'emprunter l'un ou l'autre des deux ponts voisins.

Il y a dans ces exemples un point sur l'autoroute où l'automobiliste peut quitter celle-ci et parvenir par un itinéraire différent à la même destination.

Des panneaux de signalisation implantés en amont de la sortie de délestage peuvent afficher les conditions de circulation sur les deux itinéraires concurrents afin que les usagers puissent emprunter le trajet le moins encombré.

Délestage d'une autoroute par une autre autoroute

Dans certains corridors, on trouve deux autoroutes à peu près parallèles ou se croisant à plusieurs endroits. Il est alors possible de prévoir le délestage d'une des autoroutes par l'autre en cas d'encombrement ou d'incident. Des panneaux de signalisation variable sont implantés en amont des divers points d'échange possibles pour afficher les conditions de circulation sur chacune des autoroutes, afin que les usagers puissent emprunter celle où les conditions sont les plus favorables. Les usagers peuvent passer directement d'une autoroute à l'autre par des échangeurs, sans avoir à emprunter le réseau de surface.

Délestage d'une autoroute par les artères du réseau de surface

Il est parfois possible de détourner la circulation par une artère du réseau de surface longeant ou croisant l'autoroute. Mais avant d'inciter les usagers à quitter l'autoroute, il faut vérifier les conditions de circulation sur le réseau de surface au moyen d'un système de télésurveillance. De plus, si les artères du réseau de surface sont régulées par des feux aux intersections, il est essentiel que le système de régulation soit souple et puisse écouler le surcroît de trafic sans qu'il ne se produise d'encombrement indu. Il faut en effet que les informations fournies aux usagers de l'autoroute concernant les conditions de circulation sur les itinéraires de délestage recommandés soient

en tout temps exactes pour maintenir la confiance des usagers et obtenir leur collaboration.

Il se peut que le tracé de l'autoroute permette le délestage par les artères du réseau de surface, puis le retour sur l'autoroute. Autrement dit, les usagers pourraient quitter l'autoroute et emprunter le réseau de surface pour éviter un incident ou un embouteillage, puis revenir sur la même autoroute, ou en rejoindre une voisine.

Les présentes considérations sont suivies d'une description des principaux types d'équipements de signalisation variable utilisés aux fins d'information des usagers.

10.2 Techniques

Il existe deux grandes catégories de panneaux de signalisation variable : les petits panneaux ne pouvant afficher qu'un message à la fois et les grands panneaux pouvant afficher plusieurs messages simultanément (comme les tableaux d'affichage des points dans un stade). Selon le type et la conception du panneau de signalisation :

a) on ne peut afficher qu'un certain nombre de messages préétablis et inclus dans le logiciel du système; ou

b) on peut afficher tous les messages voulus en les composant directement au clavier d'une console au centre de commande.

Pour bien choisir le type de panneau de signalisation variable qui convient, il faut tenir compte au moins des facteurs suivants :

- envergure et complexité du système global de gestion envisagé;
- possibilité d'ajouter une quantité importante d'informations au message principal;
- possibilité de changer les messages et d'en inclure de nouveaux sans aucune modification du matériel;
- aptitude à l'emploi éprouvée du type ou de la marque de panneaux considérés;
- coûts d'implantation, d'entretien et d'exploitation.

Les panneaux de signalisation variable aptes à être utilisés le long d'une route peuvent être regroupés en trois grandes classes :

- les panneaux à rideau continu;
- les panneaux à prismes rotatifs;
- les panneaux à matrices (de lampes, de disques, de volets, de fibres optiques).

Panneaux à rideau continu

Les panneaux à rideau continu comportent une bande continue de pellicule plastique portant un certain nombre de messages et s'enroulant sur deux rouleaux fixés à l'horizontale entre les parois latérales du panneau (figure 10b). Le nombre de messages pouvant être imprimés sur le rideau est limité (généralement à douze). À l'heure actuelle, ce type de panneaux n'est pas fabriqué en dimensions suffisamment grandes pour servir de panneau d'information dans les opérations de délestage (par exemple, pour afficher deux ou trois lignes de caractères de 38 à 46 cm de hauteur).

Les avantages et les inconvénients des panneaux à rideau continu sont énumérés à la figure 10c.

Figure 10b
PANNEAU À RIDEAU CONTINU
Vue latérale

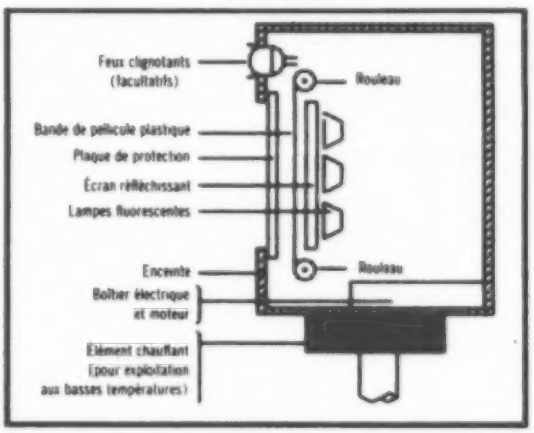
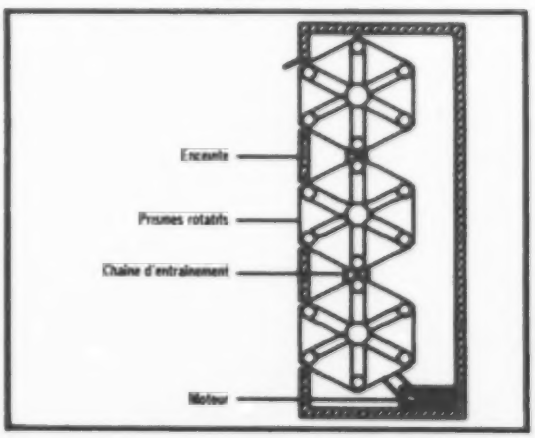


Figure 10d
PANNEAU À PRISMES
Vue latérale



Panneaux à prismes

Ces panneaux peuvent comporter un seul ou plusieurs prismes sur les faces desquels sont imprimés un message ou une partie de message (figure 10d). La plupart des prismes utilisés actuellement sont à 3, 4 ou 6 faces. On peut afficher des messages à plusieurs lignes en montant plusieurs prismes dans un même cadre.

Les avantages et les inconvénients des panneaux à prismes sont énumérés à la figure 10e.

Panneaux à matrices de lampes

Les panneaux à matrices de lampes sont constitués de modules de lampes à incandescence (chaque module pouvant afficher un caractère) placés dans une enceinte métallique. En règle générale, chaque module est une matrice de 35 lampes (5 colonnes de 7 lampes) et la lettre ou le chiffre voulu est formé en allumant les lampes appropriées. Ces panneaux sont parfois pourvus d'écrans solaires à lames horizontales destinés à empêcher les reflets et, par conséquent, à améliorer la lisibilité du message affiché (figure 10f). L'enceinte est le plus souvent étanche et peut comporter un dispositif de drainage. Le nombre de messages affichables est pratiquement illimité. Les panneaux à matrices de lampes sont fabriqués en dimensions qui conviennent à la signalisation sur les voies rapides et demeurent lisibles sous une grande diversité de conditions d'éclairage.

Figure 10c

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES PANNEAUX À RIDEAU CONTINU

Avantages
- Principe de fonctionnement simple
- Protection contre les agents extérieurs de dégradation
- Source d'alimentation de secours (sur certains modèles
- Utilisation mobile
- Affichage conforme aux normes concernant la signalisation sur les grandes routes
- Hauteur des caractères pouvant aller jusqu'à 61 cm.

Inconvénients
- Nombre limité de messages préétablis (12 au maximum)
- Nettoyage périodique indispensable
- Vitesse de changement de message lente : peut créer une certaine confusion
- Blocage fréquent des boutons de commande
- Dimensions insuffisantes pour les opérations de délestage (2 ou 3 lignes de caractères de 38-46 cm de hauteur).

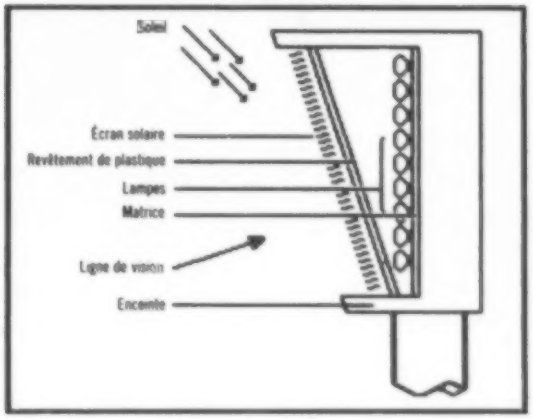
Figure 10e

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES PANNEAUX À PRISMES

Avantages
- Fonctionnement simple et entretien facile
- Conformes aux exigences du manuel des dispositifs de régulation
- Peuvent être alimentés par une pile ou actionnés à la manivelle (en cas de panne d'électricité)
- Bonne lisibilité.

Inconvénients
- Généralement non protégés contre les agents extérieurs de dégradation
- Nécessitent un nettoyage périodique
- Obligation de changer une face du prisme au complet pour changer une ligne du message
- Nécessité de régler périodiquement le mouvement électromécanique de la came (pour prévenir les blocages qui risquent d'occasionner des affichages incorrects)
- Nombre et dimensions des faces des prismes limités (surtout pour l'obtention de grands caractères)
- Vitesse de changement de message lente (jusqu'à 30 secondes), pouvant créer une certaine confusion
- Nombre limité de messages.

Figure 10f
PANNEAU À MATRICES DE LAMPES
Vue latérale



Les avantages et les inconvénients des panneaux à matrices de lampes sont énumérés à la figure 10g.

Panneaux à matrices de disques

Les panneaux à matrices de disques fonctionnent sur le même principe que ceux à matrices de lampes. Les disques ont une face de la même couleur que celle de fond du panneau et l'autre de couleur contrastante. Ils sont retournés par un dispositif électromagnétique (figure 10h).

La fiabilité des panneaux à matrices de disques a été éprouvée dans le domaine de la publicité, où on utilise depuis un certain temps des panneaux dont les messages sont changés jusqu'à quatre fois à la minute, continuellement. Ce type de panneau doit être éclairé de l'extérieur durant la nuit; il

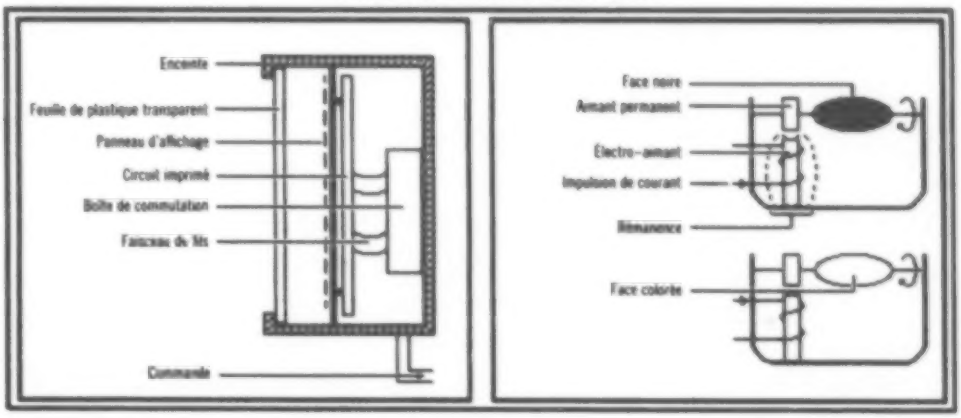
Figure 10g

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES PANNEAUX À MATRICES DE LAMPES

Avantages
- Attirent le regard
- Plusieurs modes de fonctionnement (instantané, cursif, clignotant)
- Souplesse d'affichage absolue
- Nombre de messages affichables pratiquement illimité
- Dimensions convenant à la signalisation sur les voies rapides
- Bonne lisibilité sous une grande diversité de conditions d'éclairage
- Aucun éclairage spécial requis pour la nuit.

Inconvénients
- Coûts d'entretien élevés
- Coûts d'exploitation élevés
- Consommation permanente d'électricité
- Nombreux systèmes de commande spécifiques exigeant le concours d'un personnel qualifié
- Possibilité de confusion lorsque certaines lampes ont grillé
- Remplacement constant des lampes grillées.

Figure 10h
PANNEAU À MATRICES DE DISQUES ÉLECTROMAGNÉTIQUES
Schéma de montage et disque isolé



suffit toutefois d'une faible puissance électrique (environ 1000 W). Le principal avantage des panneaux à matrices de disques est qu'ils ne consomment de l'électricité pratiquement que le temps de retourner les disques; une fois en place, ceux-ci demeurent stables et il ne faut presque pas de courant pour maintenir l'affichage. Une enceinte étanche protège les matrices contre les éléments et les agents extérieurs.

Les panneaux à matrices de disques actuellement en usage inscrivent les messages caractère par caractère et ligne par ligne. Ce mode de fonctionnement est peut-être moins avantageux que celui des panneaux à matrices de lampes, qui peuvent afficher un message instantanément et clignoter, mais ne devrait pas poser de grave problème puisque la vitesse d'inscription est assez rapide, soit, en général, moins d'une seconde par ligne.

Les avantages et les inconvénients des panneaux à matrices de disques sont énumérés à la figure 10i.

Panneaux à matrices de volets électrostatiques

Un type relativement récent de panneau à matrices utilise des volets actionnés électrostatiquement pour afficher les messages voulus. Les volets peuvent être placés dans l'une ou l'autre de deux positions : effacée ou apparente. La face du panneau est constituée de modules comportant chacun un nombre déterminé de volets (généralement 100). Les modules sont disposés en lignes et en colonnes rapprochées, de sorte que la forme et les dimensions des caractères ne sont pas limitées à celles d'un seul module. Vue de près, la face du panneau a l'aspect d'une mosaïque (figure 10j).

Le fonctionnement des volets ne demande pas une grande consommation de courant; par contre, le panneau doit être éclairé (généralement de l'intérieur) lorsque l'éclairage ambiant est faible. L'enceinte du panneau doit être étanche aux agents extérieurs de dégradation. Ce type de panneau n'exige normalement pas beaucoup d'entretien.

Un des inconvénients du panneau à matrices de volets est que l'angle de vision est plutôt limité, les volets en position effacée étant relevés vers l'extérieur. De plus, comme il fonctionne à des tensions élevées (généralement plusieurs milliers de volts), il doit être spécialement protégé contre l'humidité et la poussière. Les éléments électrostatiques étant de nature à attirer la poussière, l'enceinte doit être parfaitement étanche.

Le plus grand inconvénient de ce type de panneau réside peut-être dans sa faible vitesse d'inscription. Les messages sont inscrits de gauche à droite et il faut compter 30 secondes pour changer complètement un affichage utilisant 120 colonnes de

Figure 10i

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES PANNEAUX À MATRICES DE DISQUES

Avantages

- Faible consommation d'électricité
- Coûts d'entretien peu élevés
- Grande fiabilité
- Souplesse d'affichage absolue
- Bonne protection contre les agents extérieurs de dégradation
- Réparable sur place
- Bon contraste et bonne lisibilité sous tous les éclairages
- Bonne lisibilité du message même par grand soleil
- Éclairage de nuit ne nécessitant qu'une faible puissance électrique (environ 1000 W)
- Une fois retournés, les disques demeurent en place et il suffit de peu de courant pour maintenir l'affichage.

Inconvénients

- Réparations exigeant un technicien qualifié
- Plus lourds que la plupart des autres panneaux de signalisation variable (selon le fabricant et le modèle)
- Éclairage extérieur par des lampes fluorescentes ou des projecteurs durant la nuit
- Impact visuel atténué les jours sombres et à la tombée du jour (selon le fabricant)
- Absence de source d'alimentation de secours.

volets. La vitesse d'inscription sera peut-être réduite dans la prochaine génération de panneaux, mais, à l'heure actuelle, elle constitue un inconvénient grave pour la signalisation sur les autoroutes.

Les avantages et les inconvénients des panneaux à matrices de volets sont énumérés à la figure 10k.

Figure 10j
PANNEAU À MATRICES DE VOLETS ÉLECTROSTATIQUES
Volet isolé et schéma de montage

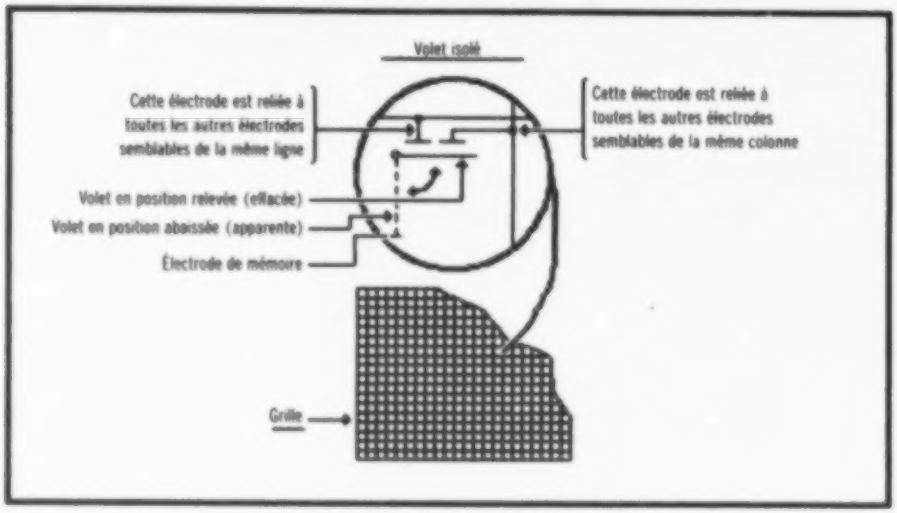


Figure 10k

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES PANNEAUX À MATRICES DE VOLETS ÉLECTROSTATIQUES

Avantages
- Principe de fonctionnement et montage simples
- Aucun semi-conducteur de puissance requis
- Possibilité d'alimentation par pile
- Souplesse d'affichage absolue : symboles, signaux, dessins
- Portable
- Étanche aux agents extérieurs de dégradation.

Inconvénients
- Vitesse de changement de message plutôt faible
- Réparations exigeant un technicien qualifié
- Angle de vision plutôt limité (peut réduire la distance de visibilité)
- Enceinte de protection haute tension requise pour protéger les volets électrostatiques contre l'humidité et la poussière.

Panneaux à fibres optiques

Un autre type relativement récent de panneau de signalisation à matrices utilise des faisceaux de fibres optiques qui transmettent la lumière émise par une lampe aux points appropriés des matrices pour afficher le message voulu. Chaque message affiché est associé à une lampe et un groupe de faisceaux de fibres distincts (figure 10L).

Les principaux avantages de ce type de panneau, en comparaison avec les panneaux à matrices de lampes, sont, d'une part, des exigences d'entretien moindres et une plus faible consommation d'énergie à cause du moins grand nombre de lampes utilisées et, d'autre part, moins de reflets et une meilleure lisibilité à cause de l'étroitesse des faisceaux lumineux. Par contre, le nombre de messages affichables est prédéterminé et il est difficile d'en ajouter, ou de modifier ceux prévus. Les panneaux à fibres optiques sont utilisés en contexte opérationnel depuis peu de temps et il ne semble pas qu'ils aient encore été utilisés en grandes dimensions pour la signalisation sur les voies rapides.

Les avantages et les inconvénients des panneaux à fibres optiques sont énumérés à la figure 10m.

Figure 10L
PANNEAU À MATRICES DE FIBRES OPTIQUES
Affichage d'une indication

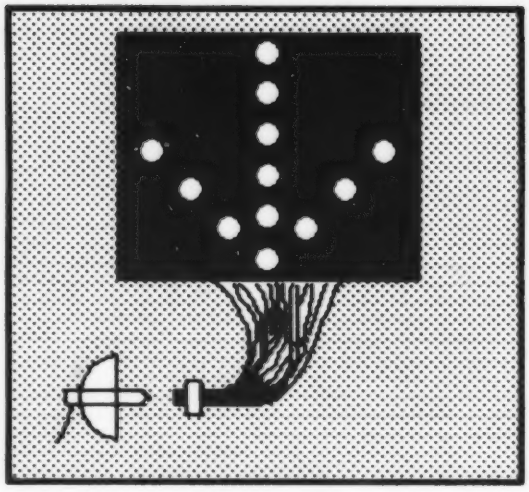


Figure 10m

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES PANNEAUX À FIBRES OPTIQUES

Avantages
- Principe relativement simple
- Consommation d'énergie relativement faible
- Possibilité de faire varier la couleur des messages
- Possibilité d'afficher des symboles et signaux routiers traditionnels.

Inconvénients
- Nombre limité de messages fixes affichables
- Lisibilité moins bonne à la lumière intense du soleil
- Défaillance prématurée des lampes (en l'absence de régulateur de tension)
- Difficulté à modifier ou à ajouter des messages.

10.3 Équipements

Les principaux éléments d'un système de signalisation d'information sur une autoroute sont :

- des panneaux à affichage variable;
- un système de commande des panneaux;
- un réseau reliant le système de commande des panneaux et l'ordinateur central;
- un système de surveillance de l'autoroute fournissant les données en temps réel sur lesquelles porte la signalisation.

Les divers panneaux de signalisation variable ainsi que leur principe de fonctionnement sont décrits à la section 10.2 et illustrés par les figures 10b, d, f, h et l.

10.4 Coûts

Le coût total d'un système de signalisation d'information dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- de la situation géographique;
- du mode d'affichage utilisé;
- de la façon dont les panneaux seront utilisés (soit entièrement pour la signalisation variable, soit en partie pour la signalisation fixe et en partie pour la signalisation variable;
- du coût des supports de panneaux, qui lui-même variera en fonction des dimensions de la partie du panneau à indications variables et de toute autre partie à indication fixe qui peut lui être ajoutée;
- du coût du système de commande, qui variera selon la complexité;
- du coût de la liaison entre le système de commande des panneaux et l'ordinateur central (voir chapitre 15); et
- du système de surveillance utilisé pour recueillir les données en temps réel sur lesquelles porte la signalisation (le coût variera selon que le système de surveillance fait partie intégrante d'un système global de gestion des incidents ou qu'un système de surveillance distinct et spécialement conçu est implanté en fonction de la signalisation variable).

Le coût des divers systèmes de signalisation d'information peut varier de façon considérable. Comme, à l'heure actuelle, ce sont les panneaux à matrices de lampes et ceux à matrices de disques qui sont le plus répandus, on a choisi de présenter (voir figure 10n) la ventilation comparative des coûts de ces deux systèmes, établie pour un projet de système intégré de signalisation d'information (Integrated Motorist Information System — IMIS) à Long Island.

Les coûts de ces deux systèmes, répartis entre investissement initial, coûts d'exploitation et coûts d'entretien, sont comparés à la figure 10n. Seuls les coûts qui diffèrent sensiblement d'un système à l'autre sont considérés. Il n'est pas tenu compte des éléments communs aux deux systèmes (supports des panneaux, barrières de protection, etc.). Un résumé de l'analyse comparative des coûts des deux systèmes est présenté à la figure 10o.

Bien que, du point de vue opérationnel, les deux types de panneaux convenaient au projet IMIS, il a été démontré que, de façon globale, ceux à matrices de disques permettaient de réaliser une économie assez considérable. En particulier, les coûts d'exploitation et d'entretien sont sensiblement moins élevés. De plus, les panneaux à matrices de disques consomment relativement peu d'énergie (ce qui représente une qualité appréciable tant aujourd'hui que pour l'avenir). À l'issue de cette comparaison, il a été recommandé d'utiliser des panneaux à matrices de disques dans le projet IMIS.

Il ne faudrait toutefois pas en conclure que les panneaux à matrices de disques sont préférables dans tous les cas. Les facteurs dont il faut tenir compte dans les analyses comparatives des coûts des divers systèmes possibles n'auront pas toujours la même valeur. Par exemple, le prix de l'électricité, s'il est relativement élevé, pourrait faire pencher la décision en faveur des panneaux à matrices de disques et des taux d'intérêt élevés, en faveur des panneaux à matrices de lampes.

Bien entendu, l'utilisation qu'on prévoit en faire déterminera le type de panneau choisi ainsi que les dimensions et, par conséquent, le coût du système de signalisation d'information. Il est recommandé de tenir surtout compte, dans l'estimation du coût d'un tel système, de la situation géographique, du type de panneau considéré, de l'utilisation prévue et des frais globaux d'implantation, d'entretien et d'exploitation.

Figure 10n

ANALYSE COMPARATIVE DES COÛTS DES PANNEAUX À MATRICES DE LAMPES ET DES PANNEAUX À MATRICES DE DISQUES

Investissement initial

AFFICHAGE	PRIX UNITAIRE DES PANNEAUX ($)	
	À lampes	À disques
1 ligne, 10 caract./ligne	8 000 $	9 000 $
2 lignes, 20 caract./ligne	26 000 $	33 000 $
3 lignes, 20 caract./ligne	37 000 $	48 000 $
4 lignes, 20 caract./ligne	43 000 $	62 000 $

Remarques :

- Les coûts communs aux deux types de panneaux ne sont pas inclus (systèmes de commande, supports, coûts d'implantation).

Coûts d'exploitation(1)

AFFICHAGE	COÛTS D'EXPLOITATION ($/h)			COÛTS ANNUELS D'EXPLOITATION ($/an)	
	À lampes		À disques		
	Usage normal	Faible usage		À lampes	À disques
1 ligne	0,07	0,03	0,05	838 $(2)	219 $(3)
2 lignes	0,29	0,12	0,07	1 796 $	307 $
3 lignes	0,43	0,17	0,10	2 628 $	438 $
4 lignes	0,58	0,23	0,12	3 548 $	526 $

(1) *Données de calcul*

- Fonctionnement des panneaux : 24 heures/jour, affichage permanent
- Usage normal : 12 h/jour, 25% des lampes allumées
- Faible usage : 12 h/jour, 10% des lampes allumées
- Prix de l'électricité : 0,06 $/kWh
- Coûts d'exploitation supplémentaires pour l'éclairage de nuit des panneaux à disques

(2) Exemple de calcul :
(0,07 $/h x 12 h + 0,03 $/h x 12 h)/jour x 365 jours = 438 $ plus 400 $ pour l'éclairage externe de la partie du panneau à indication fixe (12 h/jour)

(3) Exemple de calcul :
(0,05 $/h x 12 h (nuit)/jour x 365 jours = 219 $

Coûts d'entretien

AFFICHAGE	COÛTS ANNUELS D'ENTRETIEN[2] ($/an)	
	À lampes	À disques(1)
1 ligne	600 $	270 $
2 lignes	1200 $	990 $
3 lignes	1800 $	1440 $
4 lignes	2400 $	1860 $

Remarques :

(1) Pour les panneaux à matrices de disques, le coût annuel d'entretien est calculé à 3% de l'investissement initial, d'après l'avis des fabricants.

(2) Tous les coûts sont exprimés en dollars U.S.

Figure 10o

RÉSUMÉ DE L'ANALYSE COMPARATIVE DES COÛTS DES PANNEAUX À MATRICES DE LAMPES ET DES PANNEAUX À MATRICES DE DISQUES

COÛTS DES PANNEAUX	1 LIGNE		2 LIGNES		3 LIGNES		4 LIGNES	
	LAMPES	DISQUES	LAMPES	DISQUES	LAMPES	DISQUES	LAMPES	DISQUES
A. Investissement initial	8000	9000	26 000	33 000	37 000	48 000	43 000	62 000
B. Exploitation	838	219	1796	307	2628	438	3548	526
C. Entretien	600	270	1200	990	1800	1440	2400	1860
D. Amortissement du capital (A)*	1052	1183	3418	4339	4865	6311	5653	8151
E. Total annuel de (B + C + D)	2490	1672	6414	5636	9293	8189	11 601	10 537
F. Valeur actuelle de (B + C)	10 938	3719	22 788	9865	33 680	14 284	45 241	18 148
G. Valeur actuelle totale (A + F)*	18 983	12 719	48 788	42 865	70 680	62 284	88 241	80 148

* Calculé à un taux de 10% sur une durée de 15 ans.

Remarque : Les coûts sont exprimés en dollars U.S., à leur valeur en 1979.

10.5 Critères de choix

Pour déterminer lequel des divers systèmes de signalisation variable convient le mieux dans l'application particulière considérée, on doit tenir compte de plusieurs facteurs ou critères de choix. Ceux-ci sont énumérés à la figure 10p qui indique les systèmes auxquels ils s'appliquent.

Figure 10p

CRITÈRES DE CHOIX DES PANNEAUX DE SIGNALISATION D'INFORMATION

CRITÈRES DE CHOIX	TYPES DE PANNEAUX					
	À rideau continu	À prismes rotatifs	À matrices de lampes	À matrices de disques	À matrices de volets	À matrices de fibres optiques
Usages typiques						
• Affectation de voies	✓		✓	✓		✓
• Indications de virage	✓					
• Affichage de limites de vitesse variables	✓	✓	✓	✓		✓
• Information routière	✓	✓	✓	✓	✓	
• Détournement		✓	✓	✓	✓	✓
• Messages météo		✓	✓	✓	✓	✓
• Postes de pesage		✓	✓	✓	✓	✓
• Gestion autoroutière			✓	✓		
Contraintes d'affichage						
• Nombre limité de messages	✓	✓				✓
• Nombre illimité de messages			✓	✓	✓	
Facteurs économiques (autoroutes)						
• Investissement initial			✓			
• Coûts d'entretien				✓		
• Coûts d'exploitation				✓		
• Coût global				✓		
Facteurs humains						
• Lisibilité			✓	✓		
• Minimum de confusion lors des changements de message			✓	✓		

11.
RADIOGUIDAGE ROUTIER

Figure 11a

11.1 Principes

L'information en temps réel sur le trafic routier peut aussi être transmise par radio. Le radioguidage peut remplacer ou compléter la signalisation variable. Des panneaux implantés le long de la route indiquent aux automobilistes le poste MA qui diffuse des renseignements sur les conditions de circulation dans la zone où ils se trouvent.

Le radioguidage est actuellement utilisé à Disney World et à l'aéroport international de Los Angeles pour diriger les automobilistes vers les parcs de stationnement où il y a des places libres. Il a également été utilisé avec succès à l'occasion de travaux de réfection de routes, pour informer les automobilistes des conditions de circulation et des itinéraires parallèles.

Grâce à des émetteurs faible puissance implantés le long de la route, l'information peut être diffusée depuis le centre de commande aux diverses sections concernées. Aux États-Unis, la Federal Communications Commission (FCC) a réservé à cette fin les fréquences 530 et 1610 kHz, soit celles situées aux limites de la bande réservée à la radiodiffusion en modulation d'amplitude, mais pouvant encore être captées par la plupart des postes MA. Une option possible consisterait à affecter une de ces fréquences aux informations concernant la circulation dans un sens et l'autre à celles sur la circulation en sens contraire. Avant d'utiliser ces deux fréquences, il y a lieu évidemment de s'assurer qu'aucune station commerciale n'opère dans une bande de fréquences trop voisine.

Au Canada, seulement deux systèmes de radioguidage sont en exploitation : un à Banff (exploité par Parcs Canada) et l'autre à Sarnia.

Le ministère du Tourisme et des Loisirs de l'Ontario exploite sur le pont Blue Water un service d'information radiophonique à l'intention des touristes américains qui traversent de Port Huron à Sarnia. Une émission d'une durée de huit minutes, contenant des informations sur la réglementation routière au Canada, le taux de change, les activités d'intérêt touristique, le temps qu'il fait et la réglementation douanière américaine (pour les Canadiens qui rentrent au pays) est diffusée en continu et peut être captée dans un rayon de 9 km.

L'intérêt d'utiliser la bande de fréquences de 1605 à 1705 kHz pour la radiodiffusion de messages d'intérêt public (entre autres, d'informations destinées aux automobilistes) a été soumis à la dis-

cussion publique au cours de l'hiver 1984-85. Les résultats seront présentés lors d'une conférence régionale sur les fréquences moyennes en 1986, suite à laquelle le ministère des Communications devrait prendre une décision.

L'information routière par radio est sensiblement plus économique que par panneaux à indications variables. Du point de vue de la gestion du trafic, elle présente un avantage de plus : les automobilistes peuvent être dirigés sur un itinéraire parallèle bien avant qu'ils ne se soient engagés sur une section fortement encombrée de l'autoroute — souvent même avant qu'ils n'entreprennent leur trajet. Il n'est jamais pratique, ni même envisageable du point de vue économique, d'implanter un nombre suffisant de panneaux à indications variables pour obtenir le même résultat qu'avec la radiodiffusion. Il est probable que, dans la pratique, les deux modes d'information soient utilisés conjointement pour obtenir le maximum d'efficacité.

Deux types d'antennes peuvent être utilisés pour le radioguidage :

- les antennes à câble rayonnant
- les antennes unipolaires

Ces deux types d'antennes sont décrits ci-dessous.

11.2 Techniques

Antenne à câble rayonnant

En règle générale, l'antenne à câble rayonnant est enterrée le long de la route. L'antenne et sa zone de rayonnement sont illustrées à la figure 11b.

Un câble rayonnant est une ligne de transmission qui émet des signaux radioélectriques de faible intensité. Les différents types de câbles rayonnants sont illustrés à la figure 11c.

Le rayon de diffusion d'une antenne à câble rayonnant s'étend sur une distance de 87,5 m et 29,4 m, respectivement, aux fréquences de 530 et de 1610 kHz. On trouvera à la figure 11d le schéma électrique des antennes de ce type. Elles comportent une ligne d'alimentation médiane reliant l'émetteur à un répartiteur de puissance et des résistances en bouts de câble. On n'utilise pour le radioguidage que des câbles coaxiaux asymétriques.

Les avantages et les inconvénients des antennes à câble rayonnant sont énumérés à la figure 11e.

Figure 11b
ANTENNE À CÂBLE RAYONNANT

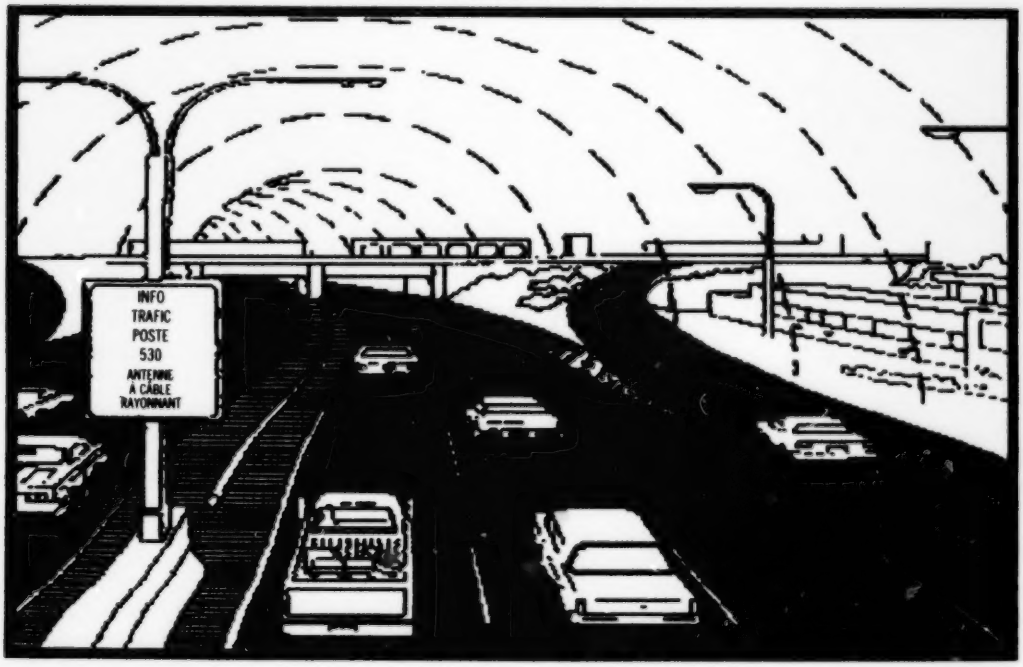


Figure 11c
TYPES DE CÂBLES RAYONNANTS

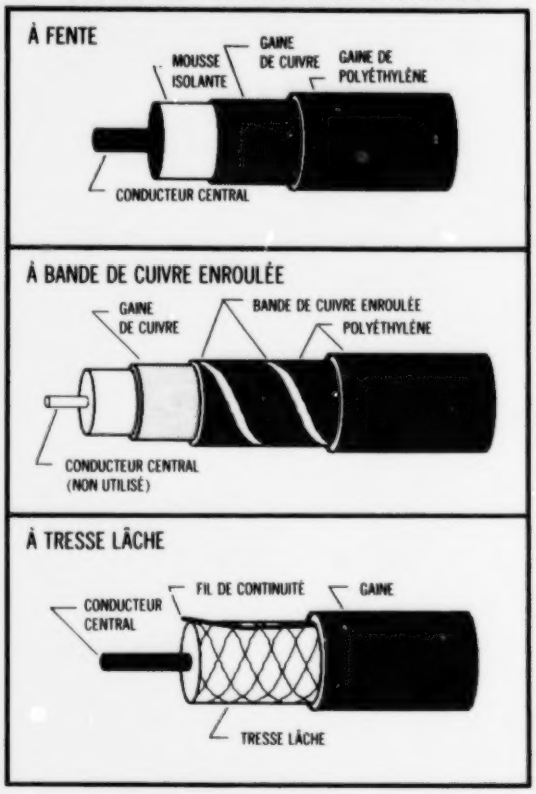


Figure 11d
SCHÉMA ÉLECTRIQUE DES ANTENNES À CÂBLE RAYONNANT

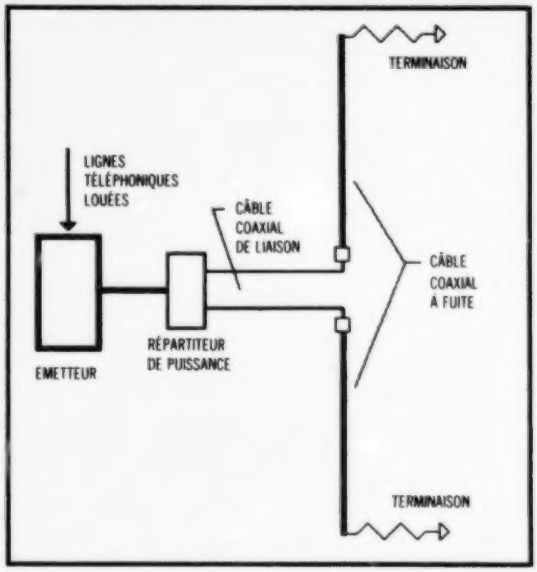


Figure 11e

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES ANTENNES À CÂBLE RAYONNANT

Avantages

- Diffusion ininterrompue dans les tunnels, sous les ponts autoroutiers, etc.
- Cachées à la vue
- Habituellement raccordées électriquement sans nécessiter aucun réseau d'adaptation ni bloc d'accord
- Zone de rayonnement limitée à 30 m du câble; la zone desservie peut être limitée pour réduire au minimum l'interférence avec les zones voisines
- Non exposées à l'action des agents atmosphériques, aux accidents ni aux actes de vandalisme (implantation souterraine)
- Rayonnement non modifié par les conditions atmosphériques
- Relativement insensibles au type de sol (câbles enfouis).

Inconvénients

- Doivent être placées près de la route
- Doivent parcourir toute la longueur de route à desservir
- Doivent souvent être enterrées à 15-20 cm de profondeur
- Coûts d'acquisition et d'implantation (câbles enfouis) plus élevés
- Difficiles à déplacer (câbles enfouis)
- Difficiles à installer aux endroits où il existe déjà un revêtement ou des ouvrages en béton, surtout aux intersections importantes.

Antennes unipolaires

Il s'agit d'un type courant d'antenne pouvant être montée sur un poteau à proximité de l'armoire logeant l'équipement de radioguidage en place. L'antenne et sa zone de rayonnement sont illustrées à la figure 11f.

L'antenne unipolaire est constituée d'un conducteur vertical accordé sur la fréquence voulue et relié à la terre. Elle rayonne dans toutes les directions. La figure 11g illustre des exemples d'implantation au sol et sur un pont autoroutier.

La figure 11h compare la zone de rayonnement d'une antenne unipolaire à celle d'une antenne à câble rayonnant. La zone de rayonnement de l'antenne unipolaire est en rapport direct avec le rendement en énergie de l'antenne et l'environnement dans lequel elle est située.

Les avantages et les inconvénients des antennes unipolaires sont énumérés à la figure 11i.

Figure 11f
ANTENNE UNIPOLAIRE

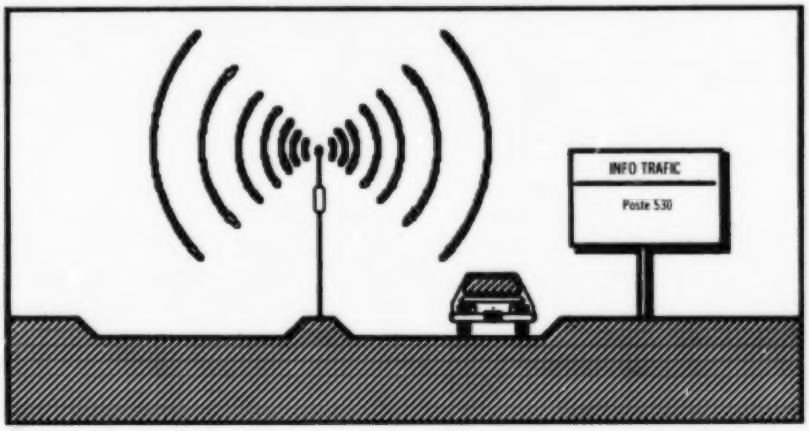


Figure 11g
SCHÉMAS D'IMPLANTATION D'ANTENNES UNIPOLAIRES

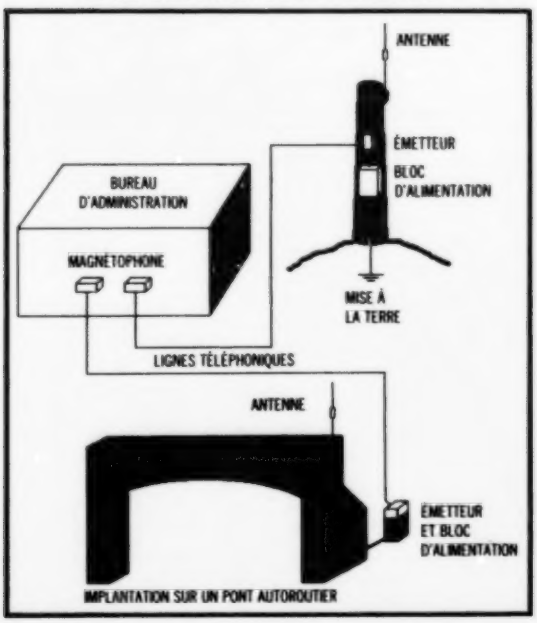


Figure 11h
DIAGRAMMES DE RAYONNEMENT DES ANTENNES À CÂBLE RAYONNANT ET UNIPOLAIRES

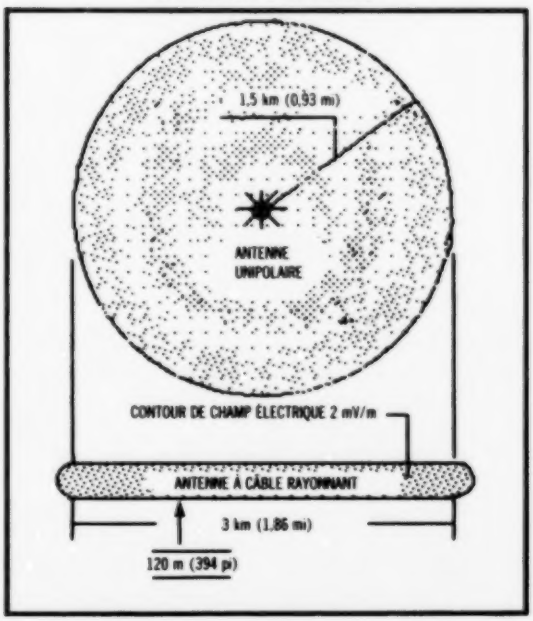


Figure 11i

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES ANTENNES UNIPOLAIRES

Avantages

- Faible encombrement : peuvent être montées dans un espace assez restreint
- Relativement faciles à installer
- Portables : faciles à déplacer
- Zone de rayonnement étendue : peuvent être implantées à plus de 100 m de la route
- Coûts d'acquisition et d'implantation généralement moins élevés que pour les antennes à câble rayonnant.

Inconvénients

- Bien en vue : exposées au vandalisme
- Exposées à l'action des agents atmosphériques et aux accidents
- Rayonnement dans toutes les directions sur une distance assez importante : risque d'interférence avec les systèmes d'autoroutes voisines.

11.3 Équipements

Centre de commande

Les principaux éléments d'un système de radioguidage sont l'équipement de radiodiffusion au centre de commande ainsi que les émetteurs et antennes sur le terrain. Les messages diffusés du centre de commande peuvent être :

a) transmis en direct par un opérateur au microphone; ou

b) enregistrés sur bande magnétique montée sans fin.

Dans le cas d'un centre de commande surveillé, un opérateur peut transmettre les messages en direct aux points de réception. S'il s'agit, par contre, d'un système de gestion moins important utilisant exclusivement un système d'information par radioguidage, les coûts reliés à la présence permanente d'un opérateur pour assurer la diffusion en direct peuvent s'avérer prohibitifs. En réalité, la plupart des systèmes de radioguidage font usage de messages enregistrés. On peut utiliser à cette fin des cartouches ou des cassettes, mais on préfère généralement les cassettes à défilement sans fin. Ce type de cassette, utilisé dans les répondeurs téléphoniques et les systèmes d'alarme automatiques, comporte un ruban d'une longueur normalisée monté sans fin sur une bobine unique et entraîné par un cabestan, de façon que l'enregistrement soit répété continuellement. Dans l'avenir, les systèmes de radioguidage feront probablement appel à des systèmes informatisés en association avec des synthétiseurs électroniques de parole pour la diffusion de messages en continu.

11.4 Coûts

Une étude des rapports avantages-coûts portant sur le système intégré d'information des usagers (Integrated Motorist Information System — IMIS) équipant le corridor nord de Long Island à New York a permis de faire les estimations présentées à la figure 11j. Il appert que le coût d'implantation d'une antenne unipolaire est considérablement moins élevé que celui d'une antenne à câble rayonnant.

La Federal Highway Administration a fait une estimation des coûts d'exploitation de trois systèmes différents de radioguidage (figure 11k) selon qu'il s'agit :

a) d'un système automatique sans surveillance;

b) d'un système surveillé à temps partiel; ou

c) d'un système surveillé en permanence.

Figure 11j

COÛTS UNITAIRES APPROXIMATIFS DES SYSTÈMES DE RADIOGUIDAGE ROUTIER

ÉLÉMENTS	COÛTS
	($ CAN)
Éléments communs aux deux systèmes considérés	
Équipement de diffusion, sur canal unique, y compris un magnétophone à cartouche	3500
Fondation pour armoire NEMA 12, boulons d'ancrage compris	325
Installation et mise à l'essai, y compris la mise en place de l'armoire, le branchement du câble d'alimentation et des câbles de commande, l'accord et la vérification finale	325
Signalisation : pour faire connaître la zone de diffusion et le poste à écouter	1950
Antennes	
Antenne à câble rayonnant (longueur typique de 1524 m)	11 700
Câble (3,28 $/m x 1524 m)	ou
Enfouissement[1] (2,62 $/m x 1524 m)	
Antenne unipolaire, y compris l'installation et le réseau d'adaptation	650
Total pour chaque système	
Antenne à câble rayonnant	17 800
	ou
Antenne unipolaire	6750

Remarque :
(1) En supposant un enfouissement direct à 15 - 20 cm de profondeur dans un sol meuble.

Figure 11k

COÛTS D'EXPLOITATION DES SYSTÈMES DE RADIOGUIDAGE

NIVEAU DE SERVICE	COÛT MENSUEL
	($ CAN)
Centre sans surveillance	
Exploitation et administration	780
Entretien (interne), ou	20
Entretien (à contrat)	65
	845
Surveillance à temps partiel (activité secondaire)	
Exploitation et administration	207
Entretien	13
	220
Surveillance en permanence	
Exploitation et administration	6955
Entretien (à contrat)	755
	7710

11.5 Critères de choix

Pour déterminer lequel des types d'antennes considérés convient le mieux dans l'application particulière envisagée, on doit tenir compte de plusieurs facteurs ou critères de choix. Ceux-ci sont énumérés à la figure 11L qui indique les systèmes auxquels ils s'appliquent.

Figure 11L
CRITÈRES DE CHOIX DES ANTENNES DE RADIOGUIDAGE

CRITÈRES DE CHOIX	SYSTÈMES	
	Antenne à câble rayonnant	Antenne unipolaire
Type de route		
• Route à chaussée unique	✓	✓
• Route à chaussées parallèles rapprochées	✓	
• Zones de diffusion rapprochées sur route à chaussée unique ou à chaussées parallèles	✓	
• Installation sur échangeurs ou aux intersections		✓
Implantation — exploitation — environnement		
• Isolées des surfaces conductrices	✓	✓
• Placées proche de conducteurs verticaux (poteaux de lampadaires en métal, lignes électriques à haute tension, etc.)	✓	
• Placées proche d'éléments rayonnants (glissières, supports et cadres des panneaux de signalisation, égouts d'eaux pluviales)		✓
• Placées à une distance d'au moins 5 fois leur hauteur de tout conducteur vertical	✓	✓
• Conductibilité du sol — à cause de la teneur en eau	✓	✓
• Câbles non protégés contre les rats et autres rongeurs	✓	✓
Dégagements à respecter entre stations(1)		
• Distance entre antennes unipolaires		
< 15 km	✓	
> 15 km	✓	✓
• Distance entre une antenne unipolaire et une antenne à câble rayonnant		
< 7,5 km	✓	
> 7,5 km	✓	✓
• Distance entre antennes à câble rayonnant		
< 0,5 km		✓
> 0,5 km	✓	✓
Coûts d'installation des antennes		✓
Facteurs humains		
• Longueur d'antenne augmentée pour que l'automobiliste ait le temps de recevoir le message deux fois lorsqu'il conduit :		
— à de faibles vitesses		
— à des vitesses élevées	✓	✓

(1)Aucune distance minimale prescrite par la FCC pour un système utilisant un seul canal à des stations différentes et exploité sous un seul permis.

12.
GUIDAGE ROUTIER EMBARQUÉ

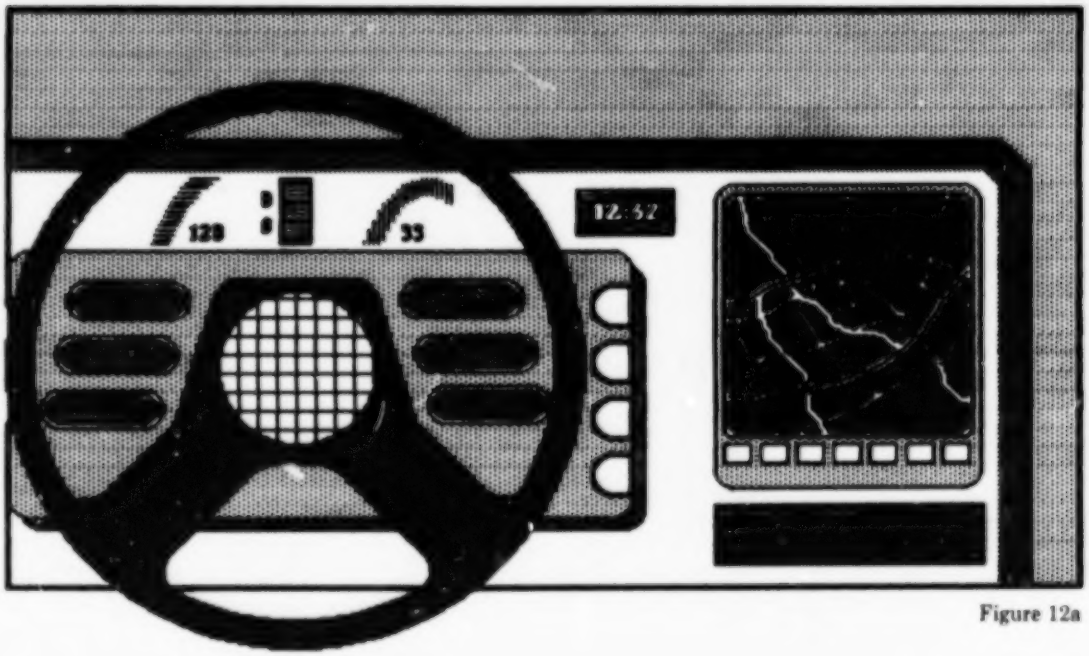


Figure 12a

12.1 Principes

Bien que le choix de leur itinéraire soit déjà facilité par la signalisation variable et le radioguidage routier, qui fournissent l'information nécessaire sur les conditions de circulation, un grand nombre d'automobilistes préféreraient être guidés automatiquement vers leur point de destination. Ils sauraient ainsi le meilleur choix à faire avant d'arriver aux points de décision (intersections, bretelles d'accès à l'autoroute, etc.) et ce, même en l'absence de panneaux d'information. Le guidage routier embarqué permettrait à chaque usager de la route de choisir beaucoup plus facilement le meilleur itinéraire pour se rendre à sa destination.

Plusieurs systèmes de guidage routier sont actuellement à l'étude ou à l'essai. Il s'agit, notamment de :

DAIR □ (Driver Aid, Information and Routing), un système d'assistance routière, d'information sur le trafic et d'établissement d'itinéraires.

ERGS □ (Electronic Route Guidance System), un système électronique de guidage routier.

CACS □ (Comprehensive Automobile Control System), un système de pilotage intégré.

IVRG □ (In-Vehicular Route Guidance), un système de guidage routier embarqué.

Avec un système de guidage routier embarqué, l'automobiliste ferait connaître ses coordonnées et son lieu de destination au moyen d'un équipement électronique disposé à bord de son véhicule. Il recevrait ensuite des instructions en fonction des conditions instantanées de circulation, du genre :

a) quitter l'autoroute par la prochaine sortie et se diriger vers telle autre autoroute;

b) tourner à droite et emprunter telle artère du réseau de surface;

c) ne pas s'engager sur telle autoroute encombrée.

Des instructions instantanées seraient ainsi fournies tout le long du parcours de chaque usager, de façon à lui faire suivre le meilleur itinéraire possible.

Un système de guidage routier embarqué nécessite généralement les quatre principaux éléments suivants (figure 12b) :

1. Un écran de visualisation à bord du véhicule.
2. Un interface de communication dans les deux sens reliant le véhicule aux postes disposés le long de la route.
3. Un système de détection/identification des véhicules.
4. Un centre de commande assistée par ordinateur.

12.2 Techniques

Affichage embarqué

Le véhicule est équipé d'un écran de visualisation placé sur le tableau de bord (figure 12a) ou sur une console séparée (figure 12c). Cet équipement permet au conducteur de faire connaître ses coordonnées et sa destination, puis de recevoir des instructions mises à jour tout au cours du trajet pour tenir compte de l'évolution de la situation.

Selon le système adopté, l'intervention de l'automobiliste se fait de l'une ou l'autre des façons suivantes :

- écrire ses coordonnées et sa destination au clavier;

Figure 12b
ÉLÉMENTS D'UN SYSTÈME DE GUIDAGE ROUTIER

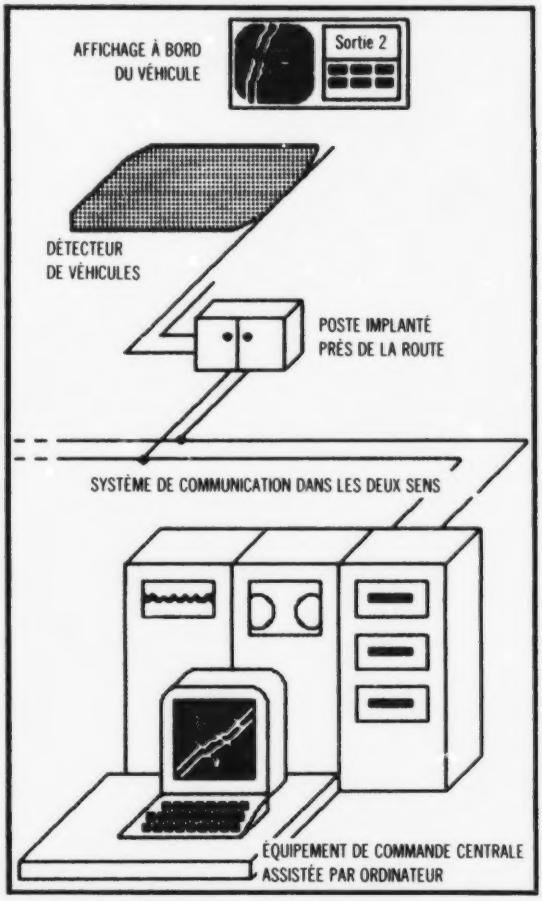
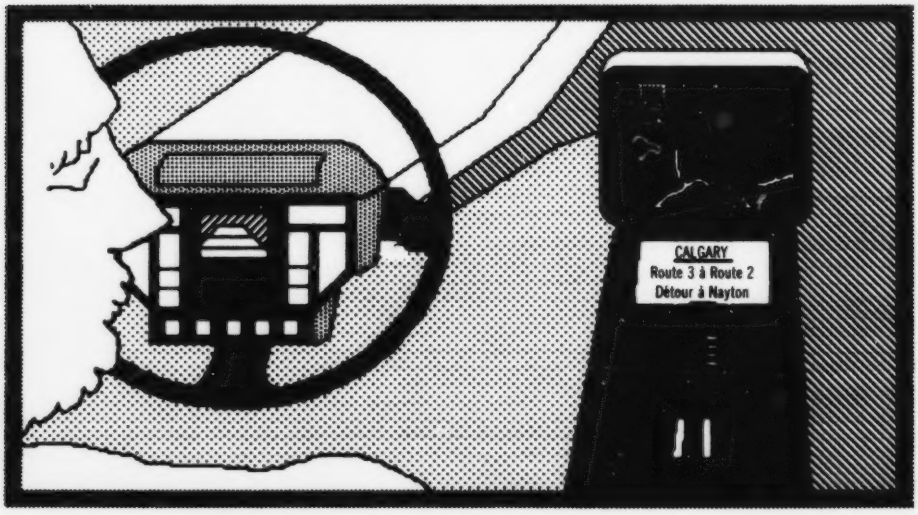


Figure 12c
ÉCRAN DE VISUALISATION À BORD D'UN VÉHICULE

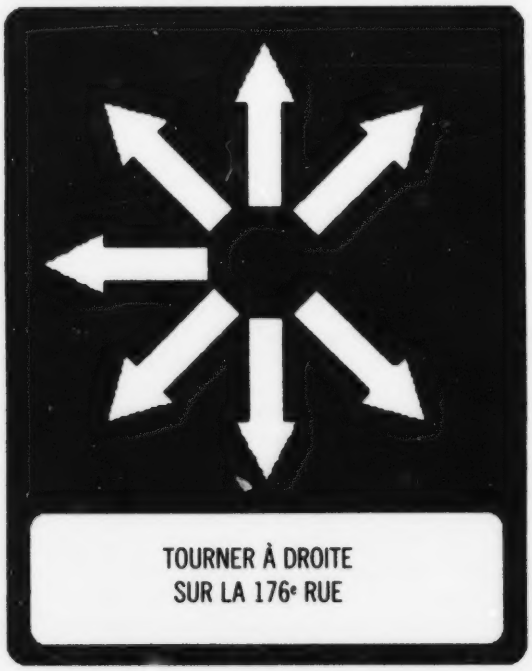


- enfoncer des boutons correspondant à des points géographiques codés;
- tracer l'information avec un photostyle sur l'écran cathodique; ou
- indiquer sa destination seulement, les cordonnées géographiques du véhicule étant déterminées automatiquement grâce à un dispositif spécial placé sur ou à bord du véhicule.

L'itinéraire recommandé peut ensuite être transmis du centre de commande à l'automobiliste sous une des formes suivantes :

- affichage des noms et numéros de routes à emprunter sur l'écran cathodique à bord du véhicule;
- affichage sur l'écran cathodique à bord du véhicule de symboles codés indiquant l'itinéraire à suivre (par exemple, une flèche pointant vers la droite pour suggérer un virage à droite à la prochaine intersection (figure 12d));
- affichage couleur de l'itinéraire à suivre sur carte de la région présentée sur l'écran cathodique à bord du véhicule (par exemple, itinéraire recommandé en vert (figure 12e)); ou
- messages audio transmis par les haut-parleurs à bord du véhicule.

Figure 12d
INSTRUCTIONS DE VIRAGE SUR UN NAVIGATEUR ÉLECTRONIQUE



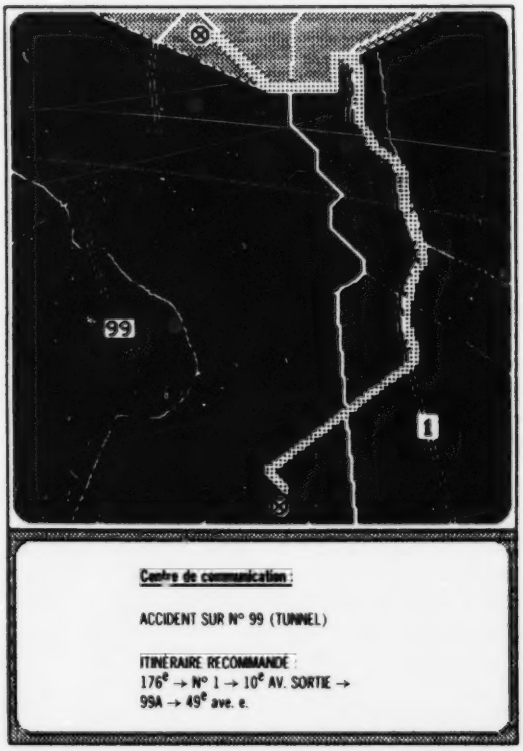
Le choix d'un système particulier de guidage routier embarqué doit refléter une prise en considération du facteur humain; l'affichage de l'information ne doit pas distraire le conducteur au point où il constitue un danger. En fait, les diverses techniques de transmission d'information n'ont pas encore dépassé le stade des essais.

Systèmes de communication

Un système de communication dans les deux sens doit servir d'interface entre l'équipement embarqué et les postes implantés le long de la route. Cette interface peut être matérialisée par :

- un dispositif émetteur-récepteur permettant de localiser automatiquement le véhicule et de transmettre des informations lorsqu'il passe près du poste;
- un dispositif d'identification automatique des véhicules permettant de les suivre sur leur parcours; ou

Figure 12e
ITINÉRAIRE RECOMMANDÉ
Affichage et instructions



- un réseau de transmission pour transmettre les coordonnées et la destination du véhicule au centre de commande où l'ordinateur établit le meilleur itinéraire à suivre.

Systèmes de détection

Des dispositifs spéciaux attachés aux véhicules ou placés à bord permettent de localiser ces derniers sur leur parcours. La détection des véhicules peut se faire au moyen de :

- dispositifs attachés à la carrosserie des véhicules;
- dispositifs placés sur l'équipement de visualisation embarqué; ou
- petits émetteurs électroniques à code délivrés avec les plaques d'immatriculation.

Ordinateur central

L'interrogation de l'automobiliste est transmise à l'ordinateur central par les postes émetteurs-récepteurs implantés le long de la route. L'ordinateur détermine le meilleur itinéraire à suivre d'après les mesures instantanées des paramètres de la circulation provenant du système de surveillance électronique, puis transmet les résultats sur l'équipement embarqué via lesdits postes.

12.3 Équipements

Il n'existe à l'heure actuelle aucun système complet de guidage embarqué sur le marché, mais on prévoit qu'avant la fin des années 80, les trois principaux constructeurs de voitures américains et plusieurs constructeurs d'outre-mer offriront un tel système en option dans leurs modèles les plus luxueux. Celui-ci s'inscrit dans une tendance beaucoup plus générale à équiper les voitures de matériel électronique tel que détecteurs et ordinateurs. Ainsi, par exemple, jusqu'à sept ordinateurs pouvant exécuter environ 38 000 instructions (par comparaison avec 4000 à 8000 en 1983) sont prévus pour certains modèles 1986 de GM.

Un des systèmes de pilotage électronique en cours de développement est le système CLASS (Chrysler Laser Atlas Satellite System) dont est doté le prototype Stealth de Chrysler. Ce système repose sur le système américain NAVSTAR comptant à l'heure actuelle cinq satellites en orbite et devant en compter 18 d'ici 1988. L'ordinateur à bord des véhicules doit recevoir simultanément un signal provenant de quatre satellites, pour pouvoir calculer les coordonnées en quatre dimensions du véhicule : latitude, longitude, altitude et temps. La position du véhicule, calculée à 100 m près (à comparer avec 15 m pour un signal militaire codé), est affichée sur un écran cathodique à contact, présentant l'image d'un véhicule sur une carte de la région concernée. Ces cartes en couleurs, au nombre de 13 000 pour les États-Unis (représentant chacune de 100 à 10 000 km²), sont emmagasinées sur un vidéodisque laser. Comme un disque de huit pouces de diamètre peut contenir sur une face 25 000 images à quatre couleurs, on pourrait y emmagasiner un nombre de cartes couvrant tout le Mexique et le sud du Canada ainsi que des agrandissements de régions métropolitaines. Il serait également possible d'emmagasiner quantités d'informations touristiques (liste des motels avec adresses et tarifs, objets ou activités d'intérêt touristique, etc.) et peut-être même le contenu du manuel du propriétaire.

Le système de pilotage Etak, dont la fabrication en série est prévue pour 1985, ne dépend d'aucun système de satellites, radar ou autre. Il est constitué d'un compas magnétique numérique, de détecteurs de mouvement et d'un système de localisation instantatée assistée par ordinateur qui, par le contrôle de la direction et de la distance parcourue, peuvent localiser le véhicule à chaque instant. On peut faire apparaître à l'écran l'image d'une grande région comme d'un secteur urbain de 400 x 400 m avec tous les noms de rues indiqués, l'information numérisée étant enregistrée sur cassettes. La commande de rapprochement est la seule commande possible lorsque le véhicule est en marche. On enregistre ses coordonnées et sa destination par une opération rapide en deux étapes, qui consiste à :

— inscrire au clavier de la console les trois premières lettres de l'intersection la plus proche; et

— appuyer sur un bouton pour faire défiler la liste des noms de rues, puis pour indiquer celle où on désire se rendre.

La carte affichée à l'écran évolue alors automatiquement de sorte que le triangle représentant le véhicule demeure au centre de l'écran et l'étoile clignotante traçant le trajet, juste au-dessus.

L'écart de localisation est corrigé une fois par seconde par une mise en comparaison des distances parcourues avec celles données sur la carte. Il y a ainsi correction réelle à chaque virage.

On prévoit offrir le système de pilotage Etak au prix de 1 600 $ U.S. pour le modèle n° 700 (écran de 18 cm) ou 1 400 $ U.S. pour le modèle n° 450 (écran de 12 cm). Les cassettes contenant les cartes géographiques coûteront 35 $ U.S. chacune,

puis l'installation et l'étalonnage initial environ 200 $ U.S.

Le système de pilotage NRV-II, conçu par Nissan, équipe à l'heure actuelle les véhicules de livraison d'un grand magasin de Tokyo. Chaque conducteur peut visualiser sur un écran embarqué l'endroit où se trouve son véhicule, sa destination et le meilleur itinéraire à emprunter pour s'y rendre. On envisage d'établir un centre de coordination d'où le coordonnateur pourrait suivre le trajet de chaque véhicule sur un grand écran de contrôle.

Plusieurs autres constructeurs sont à mettre au point des prototypes de voitures équipées de systèmes de guidage, notamment :

- GM : Buick Questor
- Ford : Continental Concept 100 et Comtech Mark VII
- Mazda : MX-02
- Constructeurs de la R.F.A. en collaboration avec :
  — Siemens Electric Ltd. : VW Auto Scout
  — VDO
  — Blaupunkt EVA
- Renault : Dialog

12.4 Coûts

Il est impossible d'avancer une estimation sérieuse des coûts des divers systèmes de guidage routier embarqués tant qu'ils ne seront pas fabriqués en série et mis sur le marché. Toutefois, les constructeurs estiment que s'ils ne coûtaient pas plus de 2000 à 2500 $ au détail, il y aurait un marché important pour ces systèmes en option dans les voitures de luxe, les voitures personnalisées et les véhicules d'entreprises, notamment les utilitaires lourds.

Or, les progrès prévus dans les procédés de fabrication et la forte concurrence qui existe déjà à l'étape des études permettent même d'avancer, sans paraître tout à fait irréaliste, un prix de 500 $ à 1000 $. Le cas échéant, les systèmes de guidage routier embarqués pourraient très bien percer sur le marché de la grande série d'ici à 1990.

Le coût global de mise au point, d'implantation et d'exploitation des équipements fixes d'un système de guidage routier embarqué en région urbaine dépendra en définitive de la partie des installations de gestion du corridor routier considérée comme spécifique au système de guidage, ou en d'autres termes de la partie des coûts reliés aux détecteurs de véhicules, aux postes émetteurs-récepteurs implantés le long de la route, aux réseaux de communication et à l'équipement du centre de commande, et devant être attribuée spécifiquement au système de guidage.

12.5 Critères de choix

Les systèmes de guidage routier embarqués n'étant encore qu'au stade de la mise au point, il est trop tôt pour en faire une mise en comparaison significative. Des critères de choix ont tout de même été définis de façon provisoire (figure 12f) dans le seul but de faciliter la comparaison des divers systèmes qui seront considérés et de déterminer dans quelle mesure ils conviennent aux conditions particulières d'exploitation. Cela dit, ils ne sauraient en aucun cas remplacer le bon jugement des ingénieurs.

L'efficacité des divers systèmes considérés peut être comparée en leur attribuant, en regard de chaque critère, la cote faible/moyen/élevé (ou l'indication "Sans objet") ou une cote de 1 à 10. Il suffit ensuite d'additionner, après pondération, les points attribués à chacun des systèmes pour obtenir une indication quant à leur aptitude relative à l'emploi.

Figure 12f

CRITÈRES DE CHOIX
DES SYSTÈMES DE GUIDAGE ROUTIER EMBARQUÉS

CRITÈRES DE CHOIX	COTES D'ÉVALUATION	
	Système 1	Système 2
Exigences globales		
• Chances d'être adopté à l'échelle du Canada (et des États-Unis)		
• Utilité en milieux urbains et ruraux		
• Délai de transmission des informations		
• Importance des coûts d'immobilisation et d'exploitation à assumer par la municipalité et la province		
• Importance des coûts à assumer par les usagers		
Affichage embarqué		
• Conformité aux normes nationales actuelles (et prévisibles)		
• Lisibilité		
• Clarté des informations transmises		
• Intégration aux autres aspects de la conduite automobile (non distrayant)		
• Possibilité d'entrée de données par l'automobiliste		
Systèmes de détection et de communication		
• Possibilité et facilité d'entrée de données par l'automobiliste		
• Bonne réaction aux informations en temps réel fournies		
• Compatibilité avec les systèmes existants de surveillance et de régulation		
• Identification automatique des véhicules		
• Diversité des informations pouvant être transmises individuellement aux véhicules		
Commande centrale assistée par ordinateur		
• Quantité de données en temps réel transmises sur les paramètres de circulation (pour établir le meilleur itinéraire)		
• Capacité mémoire (accès direct et stockage) réservée au traitement des demandes individuelles d'automobilistes		
• Adaptabilité du logiciel à de nouvelles exigences		

13.
PLANIFICATION DES DÉPLACEMENTS

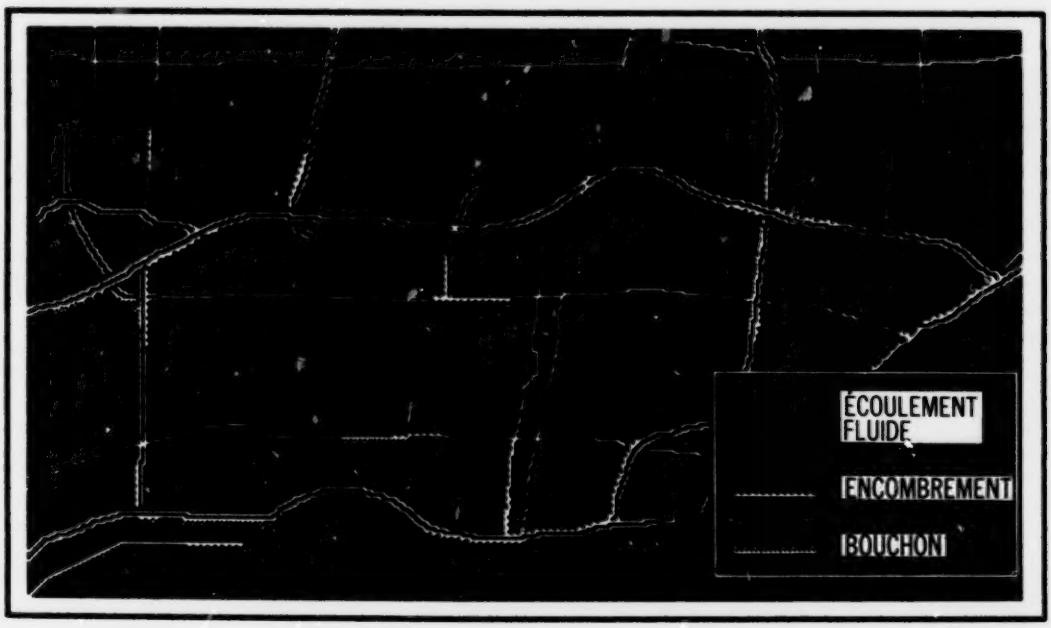


Figure 13a

13.1 Principes

Les automobilistes peuvent souhaiter connaître l'état des routes et les conditions de circulation avant d'entreprendre leur trajet, afin de pouvoir choisir le meilleur itinéraire et d'arriver à leur destination dans le meilleur délai. Par ailleurs, en cas de situations particulières (une abondante précipitation de neige par exemple) l'organisme gestionnaire du réseau routier peut aviser les principaux employeurs de la région de l'heure la plus propice pour laisser partir les employés, afin que la circulation ne gêne pas indûment les opérations de déneigement.

Le facteur le plus important pour la planification des déplacements est que l'information reflète la situation du moment même. Dès que les usagers constatent sur la route des conditions de circulation différentes de celles annoncées, ils commencent à perdre confiance et cessent de consulter le service d'information.

Les divers moyens d'information mis en oeuvre pour faciliter la planification des déplacements sont décrits ci-dessous.

13.2 Techniques

Service téléphonique

Le public peut obtenir des informations sur les conditions de circulation en composant un numéro de téléphone (figure 13b). Un numéro à sept chiffres met la personne en communication avec le service d'information. Deux autres chiffres correspondant au code de la section routière qui l'intéresse lui donnent ensuite accès à un message enregistré. Dans le cas où le service d'information routière couvre une assez grande région (une région métropolitaine par exemple) on peut prévoir plusieurs numéros de service correspondant aux principales routes ou corridors de circulation parallèles.

Il existe déjà des services d'information téléphonique qui donnent des renseignements sur les transports urbains : en composant un numéro principal, puis un code correspondant à l'arrêt le plus proche, on obtient un message enregistré indiquant l'heure du prochain autobus. Il en

existe également qui renseignent sur les conditions atmosphériques.

L'information fournie au téléphone doit refléter la situation du moment même, sinon, les usagers perdront confiance. Un service d'information téléphonique exploité dans le contexte de la gestion du Dallas Freeway a été discontinué peu de temps après sa mise en exploitation, le public ayant pratiquement cessé de l'utiliser. La raison la plus souvent invoquée était que les conditions réelles de circulation ne correspondaient pas à celles annoncées.

Communications par téléscripteurs

Des téléscripteurs reliant les medias d'information et les principales sources de trafic (grosses entreprises, stades et autres installations de récréation, etc.) au centre de régulation du trafic permettent la transmission d'information sur les paramètres de la circulation. Dans les stades, l'information peut être diffusée sur le tableau d'affichage des points (figure 13c).

Télévision

Il est possible de diffuser à la télévision les conditions de circulation sur un réseau routier au moyen d'un code de couleurs appliquées sur un schéma du réseau; par exemple :

a) vert, pour indiquer un écoulement fluide;

b) jaune, pour indiquer un écoulement lent; et

c) rouge, pour indiquer la progression par à-coups.

L'information est transmise du centre de régulation du trafic à une station de télédistribution qui la diffuse en continu. Ainsi, le public a toujours accès aux dernières informations sur les conditions de circulation (figure 13d).

Figure 13b
SERVICE D'INFORMATION TÉLÉPHONIQUE

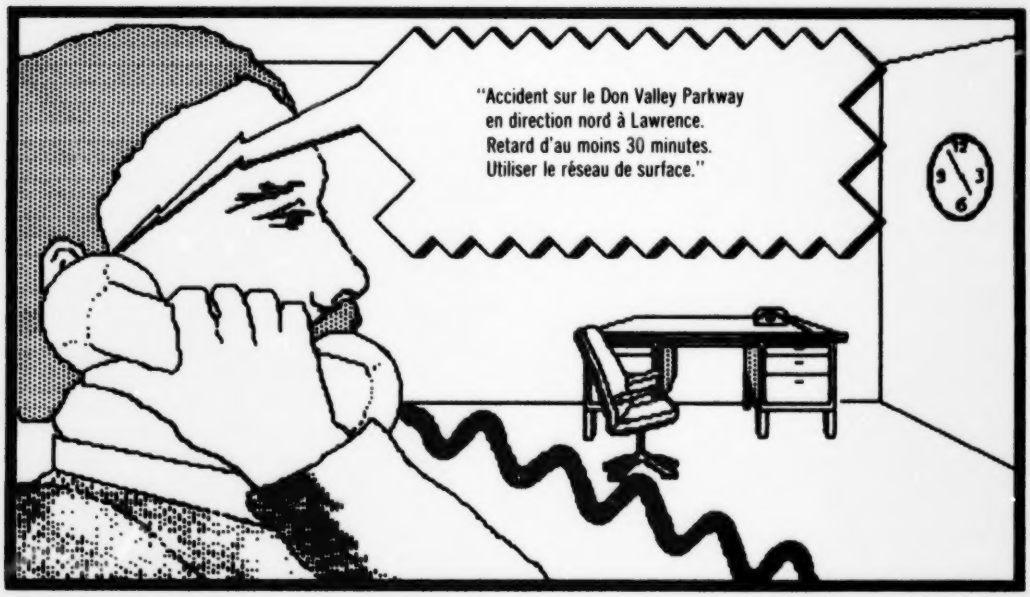


Figure 13c
AFFICHAGE DANS UN STADE

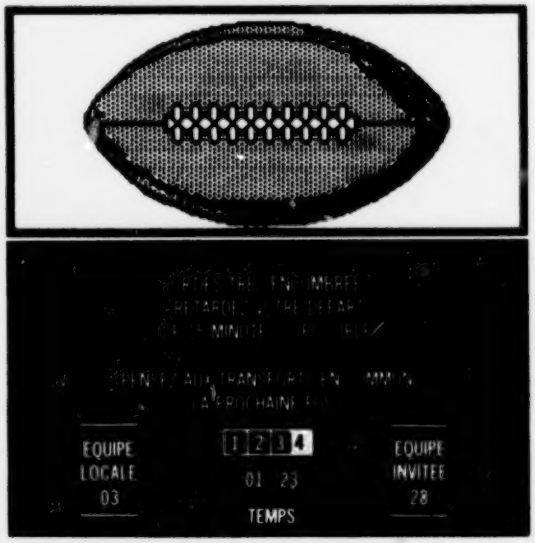
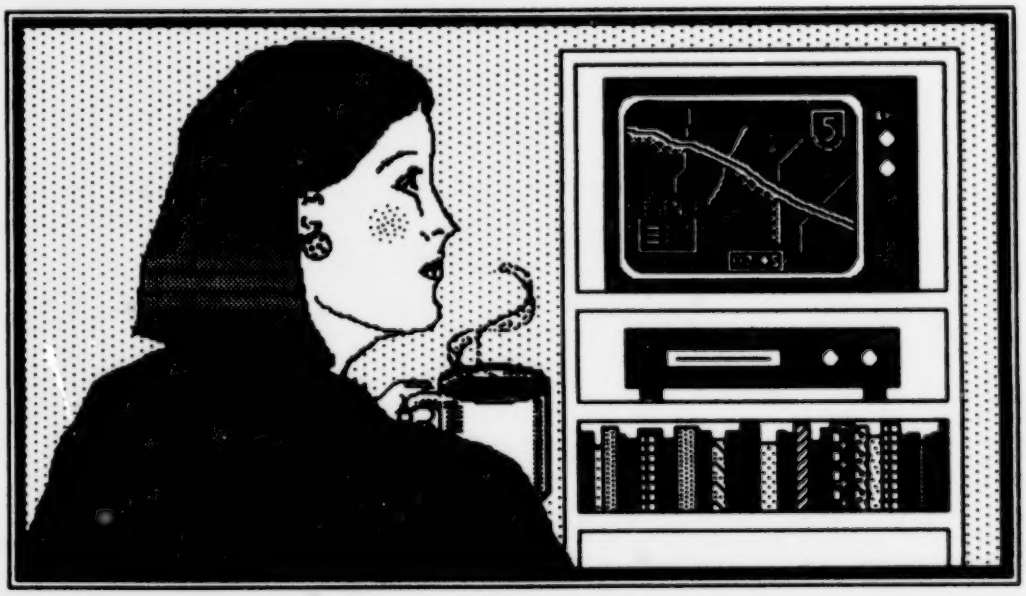


Figure 13d
INFORMATION TÉLÉVISÉE



Bulletins d'information

L'information sur les conditions de circulation peut être transmise directement aux tours à bureaux et aux garages de stationnement du centre-ville. Les conditions de circulation à l'heure de pointe du soir peuvent être affichées sur un grand écran dans le hall de l'édifice ou à la sortie du garage (figure 13e), de sorte que les personnes voyageant en auto puissent choisir l'itinéraire le moins encombré.

13.3 Équipements

L'équipement nécessaire pour un service d'information téléphonique peut se louer de l'entreprise locale d'exploitation des services téléphoniques. Il s'agirait, en l'occurrence, d'un appareil d'enregistrement et de reproduction pour chaque ligne, d'une ligne pour chaque message enregistré et d'un téléphone pour la transmission et le contrôle des messages.

L'information destinée aux stations de télédistribution et de radio, aux installations de sport et de récréation et aux principaux employeurs peut être transmise par téléscripteur, écran cathodique/imprimante ou téléphone. Chaque mode de transmission nécessite un équipement émetteur au centre de régulation du trafic et un équipement compatible de réception et d'affichage aux points de réception.

Le coût des équipements de transmission du centre de régulation est assumé par l'organisme gestionnaire du réseau routier et celui des équipements de réception, par les clients du service d'information.

Figure 13e
AFFICHAGE À LA SORTIE D'UN GARAGE

Figure 13f

ÉLÉMENTS DES SYSTÈMES D'INFORMATION VISANT LA PLANIFICATION DES DÉPLACEMENTS

SYSTÈME D'INFORMATION	RESPONSABILITÉ FINANCIÈRE
Service téléphonique	
• Attribution d'un numéro de téléphone	Compagnie de téléphone
• Enregistrement de messages	Organisme gouvernemental
• Publicité	Organisme gouvernemental ou compagnie de téléphone
• Appels téléphoniques	Portés aux comptes des abonnés
• Informations fournies par l'organisme gouvernemental	Aucun frais
Communications par téléscripteur	
• Achat du téléscripteur	Client du service d'information
• Location des lignes téléphoniques nécessaires	Client du service d'information
• Diffusion de l'information	Client du service d'information
• Informations fournies par l'organisme gouvernemental	Aucun frais
Télévision	
• Écran cathodique à la station de télédistribution	Station de télédistribution
• Interface de communication (modem téléphonique)	Station de télédistribution
• Informations fournies par l'organisme gouvernemental	Aucun frais
Bulletins d'information	
• Équipement de réception (téléphone, téléscripteur, écran cathodique)	Client du service d'information
• Location de lignes téléphoniques ou d'un modem téléphonique	Client du service d'information
• Diffusion de l'information	Client du service d'information
• Contrôle de la diffusion	Client du service d'information
• Informations fournies par l'organisme gouvernemental	Aucun frais

13.4 Coûts

Les coûts d'implantation et d'exploitation des divers services d'information considérés sont relativement faibles. La figure 13f énumère les principaux éléments de chaque système et indique qui, généralement, en assume les frais. On constatera que la plus grande part des frais est assumée par l'entreprise ou l'organisme client ou par l'usager. La figure 13f a été établie d'après un système existant de régulation et de surveillance du trafic doté d'un centre de commande assistée par ordinateur apte à fournir une information toujours fiable et actuelle sur les conditions de circulation. Les coûts approximatifs des équipements de transmission et de réception sont présentés à la figure 13g.

Figure 13g
COÛTS DES ÉQUIPEMENTS

ÉQUIPEMENTS	COÛTS ($)
Service téléphonique	
• Ligne d'abonné ($/année/ligne)	600
• Appareil d'enregistrement et de reproduction des messages	250
Téléscripteur	5000
Écran cathodique/Imprimante	
• Écran cathodique	3000
• Imprimante(1)	3000
• Modem téléphonique	1000

Remarque :
(1)Facultatif et aux points de réception seulement.

Il est à noter que la présence d'un personnel est requise pour recevoir les communications par téléscripteur et les bulletins d'information. L'intervention du personnel est également nécessaire pour la diffusion de l'information par une station de télédistribution.

13.5 Critères de choix

Pour déterminer lequel des divers moyens d'information considérés convient le mieux dans l'application particulière envisagée, on doit tenir compte de plusieurs facteurs. Ceux-ci sont présentés à la figure 13h avec indication des moyens d'information auxquels ils s'appliquent.

Figure 13h

CRITÈRES DE CHOIX DES SYSTÈMES D'INFORMATION VISANT LA PLANIFICATION DES DÉPLACEMENTS

CRITÈRES DE CHOIX	SYSTÈMES D'INFORMATION			
	Service téléphonique	Communications par téléscripteur	Télédistribution	Bulletins d'information
Transmission d'information				
• Une seule route	✓	✓	✓	✓
• Réseau	✓	✓	✓	✓
• Période de pointe du matin	✓		✓	
• Période de pointe du soir	✓	✓	✓	✓
• Temps normal	✓	✓	✓	
• Information en temps réel	✓	✓	✓	✓
• Information en temps réel affichée	✓	✓	✓	✓
• Intervention humaine requise au point de réception (réception/affichage)	S.O.	✓		✓
Public visé				
• Fortes concentrations d'employés (tours à bureaux, usines, etc.)	✓	✓		✓
• Public des aménagements/installations de récréation (installations sportives, plages)	✓	✓		✓
• Media d'information		✓	✓	
• Grand public (à domicile)	✓		✓	
Facilité d'accès				
Coût				
• Relativement faible	✓	✓	✓	✓
• Assumé par les usagers de la route	✓			
• Assumé par l'entreprise ou l'organisme client	✓	✓	✓	✓
• Assumé par l'organisme gouvernemental	✓			

Remarque :
(1)L'affichage des informations reçues doit être tenu à jour par l'entreprise ou l'organisme client.
S.O. = Sans objet

14.
RÉGULATION DES ARTÈRES

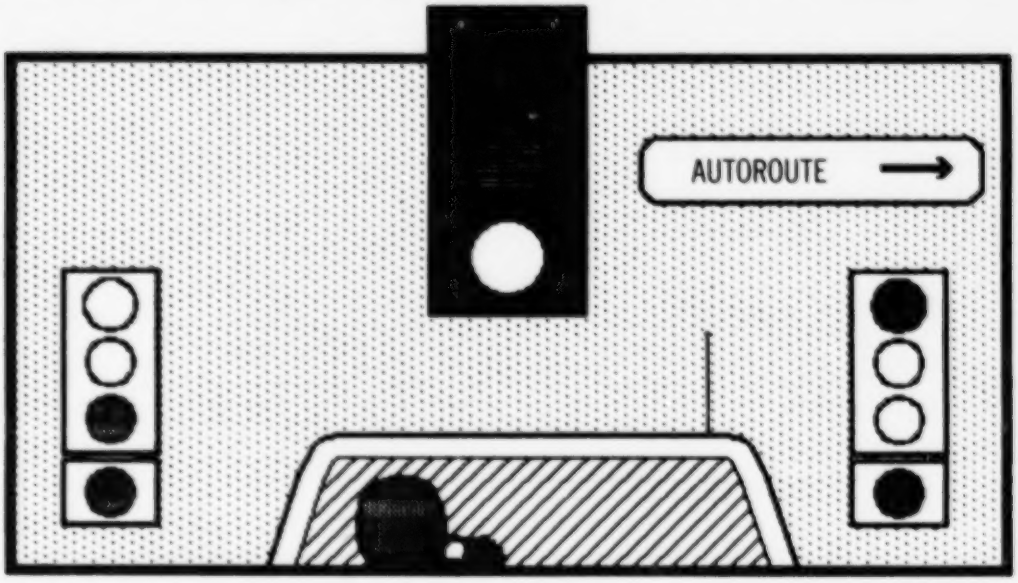


Figure 14a

14.1 Principes

La gestion d'une autoroute peut englober la régulation des artères parallèles dans le cas où le trafic doit périodiquement être détourné sur le réseau de surface. La régulation peut aussi s'étendre aux voies de service.

Les feux de régulation des artères intégrées au système de régulation de l'autoroute sont reliés directement ou indirectement à l'ordinateur central. Cette régulation assistée par ordinateur vise à assurer l'utilisation optimale de la capacité des artères parallèles lorsqu'il y a lieu de délester les voies courantes de l'autoroute. En réalité, elle est en tout temps avantageuse.

Des détecteurs doivent être implantés sur les artères pour mesurer les paramètres du trafic et fournir les données en temps réel nécessaires à la régulation adaptative des artères comme de l'ensemble du réseau. Ils permettent de déterminer dans quelle mesure les artères peuvent absorber le trafic détourné.

Il existe deux modes de régulation intégrée des artères : le système hiérarchisé et le système centralisé. Ces deux systèmes sont décrits ci-dessous.

14.2 Techniques

Régulation hiérarchisée

Dans un système hiérarchisé de régulation, les paramètres mesurés aux intersections sont transmis à des coordonnateurs de zone desservant chacun un certain nombre d'intersections. Les informations remontent au centre de commande et les consignes qui en découlent sont transmises aux divers coordonnateurs de zone, qui les acheminent aux intersections (figure 14b).

Dans ce système, un nombre restreint d'informations seulement remonte au centre de commande, les données brutes étant traitées localement. La bande de fréquence requise pour la transmission est donc moins importante. De plus, en système hiérarchisé, la régulation adaptative peut continuer en cas de panne du système central. Les avantages et les inconvénients de la régulation hiérarchisée sont présentés à la figure 14c.

Régulation centralisée

Dans un système centralisé, tous les contrôleurs de carrefour sont reliés directement à l'ordinateur

central (figure 14d). Le centre de commande dispose donc d'une plus grande quantité de données sur le fonctionnement de chaque intersection et l'état des équipements qui en assurent la régulation.

Comme, dans un système centralisé, la plus grande partie du programme de régulation est dans l'ordinateur central, il est plus facile de

Figure 14b

SYSTÈME DE RÉGULATION HIÉRARCHISÉE

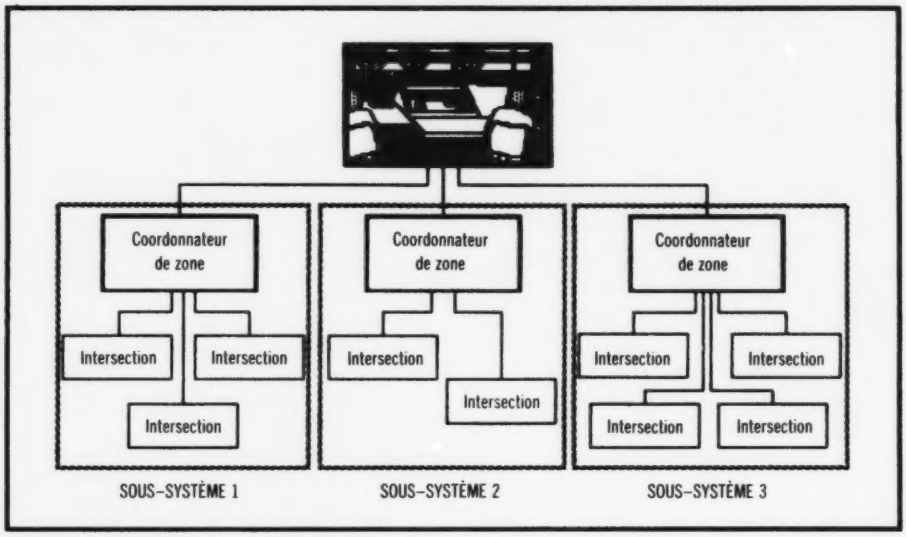


Figure 14c

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA RÉGULATION HIÉRARCHISÉE

Avantages

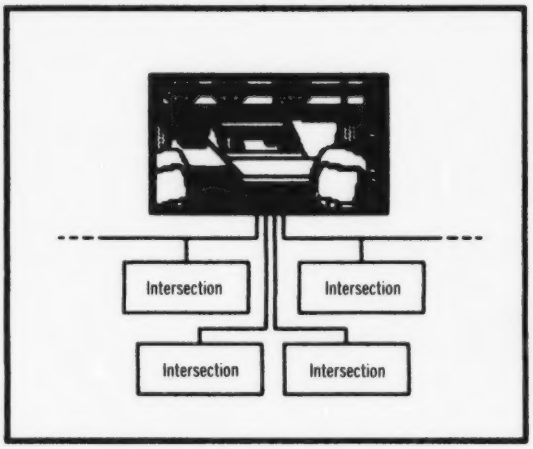
- Possibilité de loger les fonctions de régulation soit dans les coordonnateurs de zone, soit au centre de commande
- Traitement par les coordonnateurs de zone des paramètres mesurés par les détecteurs (exige un réseau de transmission moins important et un ordinateur moins puissant)
- Intersections régulées par les coordonnateurs de zone (exige un réseau de transmission moins important)
- Changements de programmes de régulation effectués par les coordonnateurs de zone plutôt que le centre de commande
- Régulation adaptative de chaque intersection en cas de défaillance des transmissions entre un coordonnateur de zone et le centre de commande
- Régulation à cycle fixe de chaque intersection en cas de défaillance de l'ensemble du réseau de transmission
- Liaison téléphonique peu coûteuse entre les coordonnateurs de zone et le centre de commande, même s'ils sont séparés par une grande distance (permet un contrôle centralisé, autrement non envisageable du point de vue financier).

Inconvénients

- Impossibilité d'intervention ponctuelle aux intersections critiques
- Changements de programme de régulation ne peuvent pas être réglés au niveau des contrôleurs de carrefours
- Coûts des coordonnateurs de zone
- Difficulté d'intégrer les améliorations apportées au programme central de régulation (comme l'établissement de programmes adaptatifs de régulation).

modifier ou de remplacer les algorithmes de régulation que dans un système hiérarchisé, où une partie importante du programme de régulation est logée dans les coordonnateurs de zone. Dans un système centralisé, il est théoriquement possible de faire varier à l'infini la durée et les phases des cycles de régulation, alors que dans un système hiérarchisé, les possibilités sont généralement limitées à la programmation de coordonnateurs de zone. Les avantages et les inconvénients de la régulation centralisée sont énumérés à la figure 14e.

Figure 14d
SYSTÈME DE RÉGULATION CENTRALISÉE
Liaison entre l'ordinateur central
et les contrôleurs de carrefour



14.3 Équipements

Les équipements nécessaires à l'implantation d'un système de régulation des artères intégré à la gestion d'une autoroute se répartissent en deux groupes :

- l'équipement de signalisation (contrôleur non compris); et
- les contrôleurs de carrefour et les coordonnateurs de zone.

Le premier groupe comprend :

- les blocs de feux de circulation;
- les supports
  - — poteaux en bois, en acier ou en béton pré-contraint et fils aériens
  - — potences
  - — poteaux d'acier ou d'aluminium sur socle;
- les détecteurs de trafic
  - — détecteurs à boucle d'induction
  - — détecteurs magnétiques
  - — pédales routières
  - — magnétomètres;
- les boutons poussoirs;
- les boîtes de tirage et canalisations électriques; et
- les câbles de transmission.

Figure 14e

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA RÉGULATION CENTRALISÉE

Avantages
- Nombre illimité de programmes de régulation
- Possibilité d'intervention ponctuelle aux intersections critiques
- Régulation à cycle fixe de chaque intersection en cas de défaillance du réseau de transmission
- Possibilité d'intégrer des modifications apportées au programme central de régulation (comme l'établissement de programmes adaptatifs de régulation).

Inconvénients
- Nécessité d'un réseau de transmission plus important
- Nécessité d'un ordinateur plus puissant, pour traiter toutes les données et calculer tous les paramètres de régulation
- Absence d'un système de régulation locale adaptative en cas de panne du système central.

Le deuxième groupe comprend le contrôleur de carrefour, son armoire, les amplificateurs, les coordonnateurs de zone et le matériel de transmission. Ces équipements sont choisis en fonction du système particulier de régulation des artères.

Une intersection peut avoir été équipée de feux de régulation avant que l'on ne décide d'intégrer la régulation des artères du réseau de surface au système de régulation de l'autoroute. Cette intersection étant déjà équipée, le coût des feux de circulation, du contrôleur (armoire comprise), et peut-être aussi des détecteurs, ne sera donc pas imputé à l'implantation d'un système de régulation intégrée des artères et de l'autoroute.

L'équipement requis pour intégrer un feu de circulation à un système de régulation des artères dépend du type de système qu'on veut implanter, c'est-à-dire hiérarchisé ou centralisé. Il s'agira, dans l'un et l'autre cas, des équipements suivants :

- Système hiérarchisé
  - — dispositif de coordination placé dans l'armoire du contrôleur de carrefour
  - — coordonnateur de zone
  - — dispositif de communication dans le coordonnateur de zone;
- Système centralisé
  - — dispositif de coordination/communication dans chaque contrôleur de carrefour.

14.4 Coûts

Il est difficile de comparer les coûts d'un système hiérarchisé et d'un système centralisé de régulation des artères, les conditions particulières d'implantation pouvant avoir une incidence considérable. Le type de transmissions en place ou envisagées dans le contexte de la gestion de l'autoroute peut déterminer le choix d'un système particulier de régulation des artères. La configuration du réseau en place, le degré d'interconnexion déjà réalisé ainsi que le niveau de régulation locale envisagé influeront également sur les coûts et le choix d'un système particulier.

Dans le cas du IMIS aux États-Unis, il a été recommandé de procéder, à l'étape des études de faisabilité, à une estimation des coûts basée sur un système centralisé de régulation. Cette approche risque de produire une surestimation lorsque le degré d'interconnexion du système de régulation existant est déjà appréciable. Dans le cas contraire, les coûts seront à peu près équivalents pour l'un et l'autre système, à cause des coordonnateurs de zone à prévoir dans un système hiérarchisé. Le coût des interfaces de régulation et de transmission nécessaires pour un système centralisé est relativement faible et peut être négligé dans l'analyse comparative des coûts des deux systèmes.

La conception du IMIS prévoit une transmission par câble coaxial, la largeur de bande permettant dans ce cas une régulation centralisée. L'écart apparent entre les coûts des deux systèmes de régulation est dû au fait qu'on a voulu doubler le réseau de transmission des sections courantes de l'autoroute, en cas de panne, en le reliant à celui des artères.

Il est probable que les équipements de régulation existants soient remplacés lors de l'implantation d'un système intégré de régulation des artères, pour assurer la compatibilité avec les dispositifs de coordination/communication. Les coûts reliés au changement d'un système à contrôleurs de carrefour indépendants à un système intégré de régulation des artères (à l'exclusion des éléments faisant partie des réseaux de transmission traités au chapitre 15) sont présentés à la figure 14f.

14.5 Critères de choix

Pour déterminer lequel des systèmes de régulation considérés convient le mieux dans l'application particulière envisagée, on doit tenir compte de plusieurs facteurs. Ces critères de choix sont énumérés à la figure 14g où sont également pointés les systèmes qui y répondent.

Figure 14f

COÛTS APPROXIMATIFS DES SYSTÈMES DE RÉGULATION DES ARTÈRES

ÉLÉMENTS	COÛT ($ CHACUN)
• Contrôleurs de carrefour, armoire comprise	
— 2 phases	5000
— 3 phases	8000
— 4 phases	12 000
• Amplificateurs	250
• Dispositifs de coordination/communication (système centralisé)	2500
• Coordonnateurs de zone (système hiérarchisé)	10 000
• Dispositifs de communication (système hiérarchisé)	1500
• Dispositifs de coordination (système hiérarchisé)	2000

Figure 14g

CRITÈRES DE CHOIX DES SYSTÈMES DE RÉGULATION DES ARTÈRES

CRITÈRES DE CHOIX	SYSTÈME CENTRALISÉ	SYSTÈME HIÉRARCHISÉ
Caractéristiques d'exploitation		
• Choix des programmes de régulation au centre de commande	✓	✓
• Possibilité d'un nombre illimité de programmes de régulation	✓	
• Intervention ponctuelle aux intersections critiques	✓	
• Maintien de la régulation adaptative même en cas de panne de l'ordinateur central		✓
• Système de régulation par cycle fixe en cas de panne	✓	✓
Paramètres du trafic		
• Mesure des paramètres du trafic sur les artères	✓	✓
• Traitement local des données		✓
• Traitement central des données	✓	
Transmissions		
• Câbles appartenant à l'organisme gestionnaire	✓	✓
• Câbles loués		✓ (1)
• Système de numérotation au cadran		✓
Centre de commande		
• Contrôle des paramètres enregistrés et commande des programmes de régulation	✓	
• Possibilité d'appliquer un nombre illimité de programmes de régulation	✓	✓
• Possibilité d'intervenir ponctuellement aux intersections critiques	✓	
• Possibilité de relayer des informations aux contrôleurs de carrefour	✓	✓
Systèmes (2)		
• Système intégré de surveillance et de régulation, avec réseau de transmissions exploité par l'organisme gestionnaire et régulation des artères	✓	
• Régulation des artères seulement (sans possibilité d'intervention ponctuelle aux intersections critiques)		✓
• Régulation des artères seulement (avec possibilité d'intervention ponctuelle aux intersections critiques)	✓	

Remarques :

(1) Peut s'appliquer aux deux systèmes, mais est considéré plus rentable dans le cas du système hiérarchisé.

(2) La régulation centralisée est préférable dans le cas d'importants systèmes de gestion intégrée en raison de sa souplesse et de la possibilité d'intervenir ponctuellement aux intersections critiques. De plus, comme il existe déjà un réseau de transmissions pour les systèmes de surveillance et de régulation de l'autoroute, l'extension de ce réseau pour une régulation centralisée des artères constitue une solution économique.

15.
RÉSEAU DE COMMUNICATION

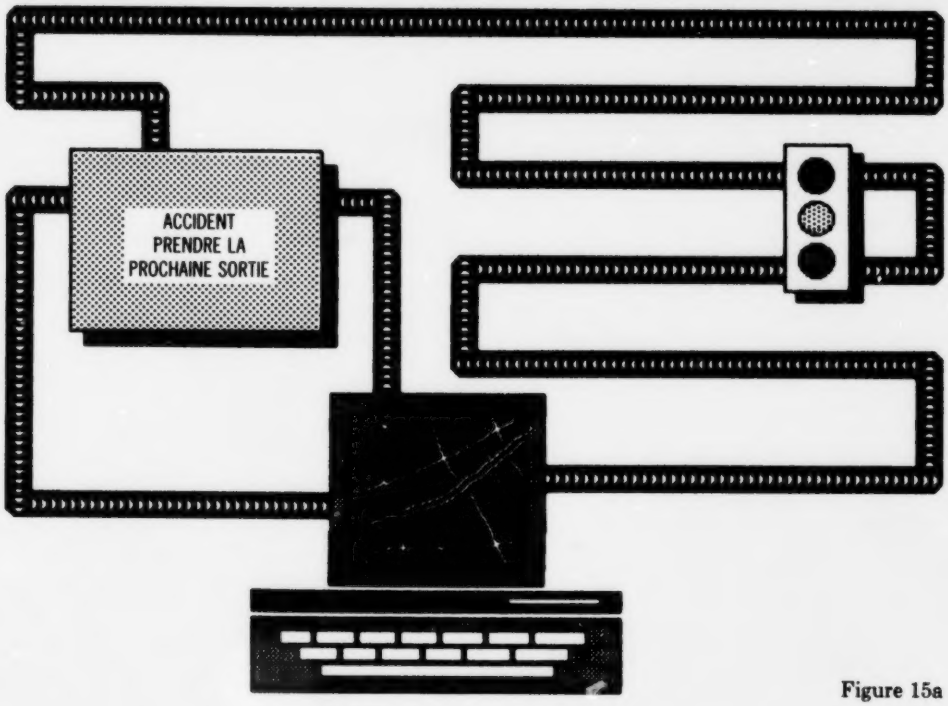


Figure 15a

15.1 Principes

Le réseau de communication sert à transmettre au centre de commande, en vue de leur traitement, les données captées par les divers équipements de surveillance et de régulation en place, et à acheminer vers ces derniers les consignes de l'ordinateur.

Le réseau de communication est non seulement un des principaux éléments du système de gestion d'une autoroute, mais aussi le plus coûteux. Le moyen de communication choisi dépendra de l'envergure et de la complexité du système global de gestion et pourra influencer dans une large mesure le choix des divers éléments de celui-ci. Le prétraitement local des données réduit l'importance du réseau de communication requis mais exige, par ailleurs, des équipements de régulation plus complexes, donc plus coûteux. La régulation hiérarchisée, par rapport à la régulation centralisée, réduit également de façon sensible les besoins en matière de réseau de communication, mais elle offre, par contre, une moins grande souplesse.

15.2 Techniques

Moyens de communication

Plusieurs moyens de communication conviennent à la gestion routière. Le choix sera déterminé par les conditions particulières d'implantation et les divers moyens de régulation envisagés. Les plus courants sont :

a) les câbles à paires torsadées;

b) les câbles coaxiaux;

c) les câbles à fibres optiques; et

d) les liaisons radioélectriques.

Les critères de sélection, outre le coût, sont la fiabilité, la facilité d'entretien et la possibilité d'extension ou de modification du réseau.

Une étude comparative des avantages et des coûts reliés à un réseau de câbles coaxiaux par rapport

à un réseau de câbles à paires torsadées devrait tenir compte des facteurs suivants (qui sont, par ailleurs, susceptibles de faire pencher la décision en faveur des câbles coaxiaux) :

- coût à la hausse du cuivre;
- coût à la hausse de la main-d'oeuvre qualifiée pour les opérations de câblage;
- récents progrès technologiques portant sur les amplificateurs de ligne dans le domaine de la télévision par câble — ils offrent maintenant une plus grande fiabilité à un coût moindre;
- plus grande souplesse et fiabilité assurées par la commutation automatique en cas de rupture du câble; et
- possibilité d'extension accrue par l'emploi de bandes de fréquences plus larges.

La comparaison entre les câbles coaxiaux et les câbles à fibres optiques doit tenir compte des récents progrès technologiques, comme du fait qu'un grand nombre d'entreprises téléphoniques utilisent de plus en plus les câbles à fibres optiques.

La radiocommunication est la transmission de signaux sur une fréquence donnée par l'intermédiaire des ondes électriques. Les signaux peuvent être transmis à grande distance sans le support matériel de lignes électriques. La transmission aux fins de gestion routière n'est possible que si une bande de fréquences peut y être réservée dans la région concernée

Les principaux avantages et inconvénients des divers moyens de communication énumérés sont présentés aux figures 15b à 15e. Les trois types de câbles considérés sont illustrés sur les figures 15f, g et h.

Transmission par câbles à paires torsadées

La transmission par câbles à paires torsadées est possible en trois modes :

- multiplexage en fréquence;
- multiplexage temporel; et
- commutation directe.

Les avantages et inconvénients de ces différentes techniques sont présentés aux figures 15i, j et k.

Transmission par câbles à fibres optiques

Les câbles à fibres optiques sont utilisés pour la transmission de données et de signaux vidéo. Plusieurs modes d'émission et de réception sont possibles, comportant chacun ses avantages et ses inconvénients.

a) Transmission dans la bande de base
Un signal vidéo émis dans la bande de base fait varier l'intensité de la lumière injectée dans la fibre optique. Un récepteur optique capte les variations d'intensité et régénère le signal vidéo. Ce mode de transmission convient particulièrement à la transmission de données. Il nécessite l'emploi d'un câble distinct par caméra utilisée.

b) Modulation d'amplitude en bande latérale résiduelle
Les signaux vidéo sont modulés et transportés sur des bandes de fréquences différentes par une fibre optique. Au bout de la ligne, un filtre sépare ces bandes. Une seule fibre optique peut transporter jusqu'à trois signaux vidéo. Ce mode de transmission exige l'emploi de répéteurs.

Figure 15b

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES CÂBLES À PAIRES TORSADÉES

Avantages
- Coût relativement faible pour les réseaux peu complexes et de faible étendue
- Équipement de communication moins complexe
- Plus fiables que les autres supports de transmission
- Entretien moins complexe que pour les autres supports de transmission.

Inconvénients
- Peu compatibles avec la télévision en circuit fermé
- Nombre de paires de conducteurs, donc coût du réseau, augmente proportionnellement au nombre de canaux à transmettre
- Extension du réseau limitée par le nombre de paires de réserve prévues.

Figure 15c

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES CÂBLES COAXIAUX

Avantages

- Compatibles avec les systèmes de communication les plus complexes, notamment avec la télévision en circuit fermé
- Fiables
- Possibilité de doublage des circuits
- Facilité d'extension du réseau jusqu'à pleine capacité du câble.

Inconvénients

- Coût relativement élevé en raison des amplificateurs de ligne
- Personnel d'entretien hautement qualifié
- Risque d'endommagement relativement élevé au cours des opérations de câblage.

Figure 15d

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES CÂBLES À FIBRES OPTIQUES

Avantages

- Bonne compatibilité avec les systèmes de communication les plus complexes, notamment la télévision en circuit fermé
- Non sujets aux interférences électromagnétiques
- Absence des problèmes liés aux courants de retour par la terre
- Moins coûteux que les réseaux à câbles coaxiaux
- Fiables et pratiquement inviolables
- Plus grande facilité d'extension que les réseaux de câbles à paires torsadées.

Inconvénients

- Coût plus élevé que pour les câbles à paires torsadées à cause des répéteurs
- Connexions et terminaisons difficiles à réaliser
- Équipement complexe d'émission et de réception dont l'entretien doit être assuré par des personnes hautement qualifiées
- Réduction de la facilité d'extension des réseaux de télévision en circuit fermé comparativement aux câbles coaxiaux
- Manque de souplesse imposant une manutention délicate pour éviter que les fibres ne soient endommagées
- Absence de normalisation dans l'industrie des transmissions par fibres optiques.

Figure 15e

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA COMMUNICATION RADIO

Avantages

- Compatibilité avec les systèmes de communication les plus complexes, notamment la télévision en circuit fermé
- Aucune excavation spéciale nécessaire; aucun risque d'endommagement du support de transmission
- Facilité d'extension à la condition que des canaux soient libres dans la région
- Communication à grande distance et à peu de frais.

Inconvénients

- Sujette aux interférences causées par les conditions atmosphériques et les travaux de construction
- Coût élevé des émetteurs et des récepteurs
- Personnel d'entretien qualifié.

Figure 15f

CÂBLES À PAIRES TORSADÉES

Câble de pose en pleine terre

Norme IMSA 20-6-1962/67/73/82
Norme IMSA 19-6-1962/67/73/82

Conducteurs : — fils torsadés
Écran : — ruban de cuivre entre gaines
Gaines : — intérieure : polyéthylène
— extérieure : polyéthylène (PE) noir selon la norme IMSA 20-6 ou polychlorure de vinyle (PVC) selon la norme IMSA 19-6

Câble aérien auto-porteur

Norme IMSA 20-4-1962/67/73/82
Norme IMSA 19-4-1962/67/73/82

Conducteurs : — fils torsadés
Écran : — ruban de cuivre sous la gaine
Gaine : — PE noir selon IMSA 20-4 ou
PVC selon IMSA 19-4

Câble pour suspension aérienne ou pose en conduite

Norme IMSA 20-2-1962/67/73/82
Norme IMSA 19-2-1962/67/73/82

Conducteurs : — fils torsadés
Écran : — ruban de cuivre sous la gaine
Gaine : — PE noir selon IMSA 20-2 ou
PVC selon IMSA 19-2

Figure 15g
CÂBLE COAXIAL

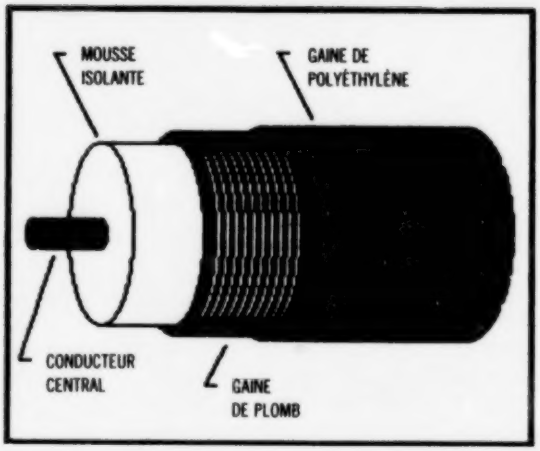
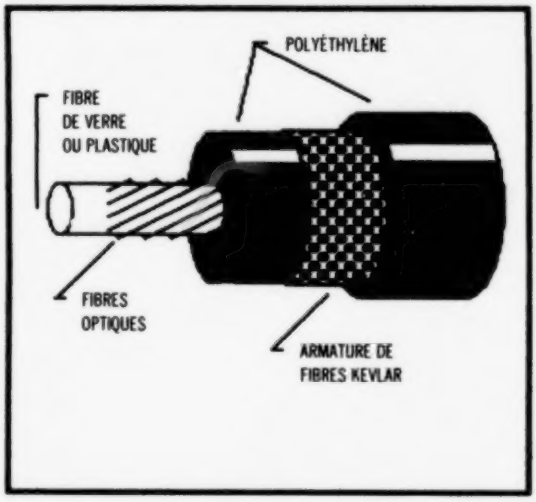


Figure 15h
CÂBLE À FIBRES OPTIQUES



c) Modulation d'amplitude dans les deux bandes latérales

Ce mode de transmission est analogue au précédent, sauf qu'il utilise un convertisseur de fréquences pour séparer les signaux en bout de ligne. Une seule fibre optique peut transporter jusqu'à trois signaux. L'emploi de répéteurs est nécessaire.

d) Modulation de fréquence multivoie
Les signaux vidéo sont modulés sur une bande de fréquences de largeur déterminée et transportés par une fibre optique. Ils sont séparés à leur passage par le récepteur optique. Une seule fibre optique peut véhiculer jusqu'à cinq canaux. L'emploi de répéteurs est nécessaire.

e) Multiplexage temporel
Le temps de transmission est divisé en intervalles très courts, un créneau étant alloué à chaque émetteur-récepteur sur la ligne. Ce mode de transmission ne convient qu'à la transmission de données. L'emploi de répéteurs est nécessaire.

f) Multiplexage en fréquence
Dans ce système, un mélangeur optique effectue la transmission des divers signaux vidéo sur des fréquences différentes. Une seule fibre optique peut transporter jusqu'à trois signaux vidéo. L'emploi de répéteurs n'est pas nécessaire.

Réseau loué

Une des principales décisions à prendre quand on choisit le réseau de communication d'un système de gestion routière consiste à opter :

- pour la location d'installations d'une entreprise téléphonique ou de télédistribution; ou
- pour l'implantation appartenant en propre à l'organisme gestionnaire de l'autoroute.

Le coût et le délai d'implantation d'un réseau de communication sont de la plus haute importance. Les principaux facteurs influant sur le coût d'un réseau loué sont :

- l'existence de canaux libres dans la région concernée;
- la distance séparant les réseaux téléphoniques des équipements de surveillance et de régulation en place;
- le nombre de raccordements requis;
- l'ampleur des travaux requis;
- le nombre de services et de juridictions concernés; et
- le coût relié à l'alimentation.

Figure 15i

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU MULTIPLEXAGE EN FRÉQUENCE

Avantages
- Sensibilité au bruit relativement faible
- Entretien facile
- Fiabilité et bon rendement
- Coût moyen.

Inconvénients
- Bandes de largeur considérable exigées pour la modulation
- Un canal par fonction.

Figure 15j

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU MULTIPLEXAGE TEMPOREL

Avantages
- Fiabilité et bon rendement
- Facilité d'extension
- Facilité d'intégration à un système informatique
- Encombrement relativement faible.

Inconvénients
- Plus coûteux que le multiplexage en fréquence et la commutation directe
- Sensibilité au bruit
- Entretien plus complexe que pour le multiplexage en fréquence et la commutation directe.

Figure 15k

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA COMMUTATION DIRECTE

Avantages
- Sensibilité au bruit relativement faible
- Fiabilité et bon rendement
- Coût faible à moyen.

Inconvénients
- Possibilités d'utilisation très limitées
- Nécessité de beaucoup d'espace au central
- Difficulté d'extension
- Difficulté de se procurer les équipements.

La fiabilité du réseau d'une entreprise prestataire doit être prise en considération. Il faut envisager la possibilité que l'organisme gestionnaire de l'autoroute n'ait pas de contrôle ni de pouvoir d'intervention directs sur le réseau.

Les avantages et inconvénients du réseau loué sont présentés à la figure 15L.

Réseau implanté par l'organisme gestionnaire de l'autoroute

Dans le cas où on envisage un réseau de communication implanté et exploité par l'organisme gouvernemental gestionnaire de l'autoroute, une estimation détaillée et une mise en comparaison des coûts, répartis en frais d'établissement, coûts d'exploitation annuels et coût global, s'imposent pour chaque type de réseau possible.

La fiabilité des équipements de communication et réseaux de transmission considérée doit faire l'objet d'une étude sérieuse. Aux États-Unis, on a pu constater que, dans certains cas, la fiabilité du réseau de communication loué à une entreprise téléphonique était tout à fait aléatoire, étant liée aux activités propres de cette dernière qui peuvent engendrer des interruptions de service, des bruits parasites, etc.

Quant à l'entretien, il est, dans le cas d'un réseau loué, assuré par l'entreprise prestataire, ce qui peut signifier des interruptions de service plus longues et, en général, une moins grande fiabilité que s'il était confié à une entreprise concurrente. Dans la plupart des régions, il existe déjà des réseaux que l'organisme gestionnaire de l'autoroute peut louer. Toutefois, si l'entreprise de services publics concernée doit construire de nouvelles installations, il faut envisager la possibilité d'un long délai.

Tous ces facteurs doivent être pris en compte pour choisir le réseau de communication convenant le mieux aux conditions particulières d'implantation et aux exigences d'exploitation.

Les avantages et inconvénients de ce réseau sont présentés à la figure 15m.

Figure 15L

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS D'UN RÉSEAU LOUÉ

Avantages
- Réduction éventuelle des frais d'établissement et du délai d'implantation
- Réduction des travaux d'entretien à assurer par l'organisme gestionnaire de l'autoroute.

Inconvénients
- Augmentations éventuelles des tarifs
- Aucune possibilité d'intervention directe de l'organisme gestionnaire de l'autoroute, ce qui peut diminuer la fiabilité du réseau.

Figure 15m

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS D'UN RÉSEAU IMPLANTÉ PAR L'ORGANISME GESTIONNAIRE DE L'AUTOROUTE

Avantages
- Exploitation sous le contrôle direct de l'organisme gestionnaire de l'autoroute
- Plus grande fiabilité intrinsèque.

Inconvénients
- Frais d'établissement élevés
- Entretien sous la responsabilité de l'organisme gestionnaire de l'autoroute.

15.3 Équipements

Les principaux éléments du réseau de communication sont :

1) les émetteurs et récepteurs en place (ou dispositif de communication en place);
2) les émetteurs et récepteurs du centre (ou dispositif de communication central); et
3) le support de transmission.

Les équipements émetteurs-récepteurs en place sont généralement logés dans une armoire avec d'autres équipements tels que détecteurs, régulateurs de feux et commandes de signalisation variable. L'équipement émetteur-récepteur peut, dans certains cas, effectuer un prétraitement des données reçues de divers équipements de surveillance et de régulation.

Le dispositif de communication central est constitué d'éléments modulaires qui reçoivent les signaux des dispositifs de communication en place et les transforment en données compatibles avec l'ordinateur. Dans le cas de la télévision en circuit fermé, par exemple, le dispositif de communication central capte les signaux vidéo et les adapte en fonction des écrans de visualisation.

Un système de communication par radio comporte à chaque point de surveillance et de régulation un émetteur et un récepteur radio ainsi qu'une antenne émettrice-réceptrice permettant de communiquer avec le centre de commande, où une grande antenne verticale émet et capte les signaux radio et transmet les informations à la station centrale de radio.

Les trois autres moyens de communication utilisent comme support de transmission un câble reliant le centre de commande à chacun des points de surveillance et de régulation. Le câble peut être enfoui en pleine terre ou placé dans une conduite, ou posé sur les poteaux de services publics existants. Le plus souvent, on a recours aux trois modes d'installation à la fois, en tenant compte des risques d'endommagement et des coûts d'installation.

L'installation aérienne s'avère souvent la plus facile et la moins coûteuse. Le câble de transmission est soutenu par un câble porteur en fil d'acier galvanisé faisant partie intégrante du câble de transmission ou soutenant ce dernier au moyen d'étriers en acier inoxydable.

Les câbles terrestres destinés à l'enfouissement en pleine terre sont revêtus d'une gaine épaisse de polyéthylène. Ils sont utilisés principalement le long d'autoroutes dont l'emprise est sous la gestion de l'organisme responsable de la route et où ils ne risquent donc pas d'être dérangés par les travaux d'excavation d'entreprises de services publics ou de constructeurs.

L'installation de câbles dans des conduites souterraines est la plus coûteuse des trois modes d'installation. Le câble lui-même coûte légèrement moins cher que celui destiné à l'enfouissement en pleine terre, mais le coût de la conduite varie entre 6 et 30 $/m, selon le diamètre et le matériau constitutif. Les conduites offrant la meilleure protection sont, dans l'ordre, celles en acier galvanisé, en fibre de verre et en PVC. L'installation en conduite nécessite par surcroît la pose de boîtes de tirage supplémentaires pour faciliter la mise en place et l'entretien.

Un des principaux coûts de l'installation souterraine est relié aux travaux d'excavation des tranchées et de remise en état du sol. Le coût de ces travaux peut varier entre quelques dollars au mètre, dans le cas d'un terrain non aménagé, et 100 à 150 $/m le long des trottoirs en milieu urbain et même atteindre 300 $/m en sol revêtu de béton.

Avec les câbles coaxiaux et les câbles à fibres optiques, il faut installer des équipements spéciaux entre les dispositifs de communication en place et le centre de commande pour assurer la portée voulue. Il s'agit, dans le premier cas, d'amplificateurs qui servent à rétablir la puissance du signal émis de distance en distance le long du circuit et, dans le deuxième, de répéteurs qui captent, puis réémettent les signaux transmis. Dans les deux cas, des connexions doivent être posées en bout de ligne et à la jonction avec les divers équipements du circuit.

15.4 Coûts

Les coûts reliés au réseau de communication sont fonction de la situation géographique de l'installation et de la quantité de données à transmettre. Il n'est donc pas possible de tirer de conclusions définitives d'études générales ou particulières des rapports avantages-coûts des divers réseaux envisageables. Un coût approximatif pour les divers éléments constituant un réseau de communication est tout de même suggéré à la figure 15n afin de guider les ingénieurs dans leur tentative d'estimation du coût des divers réseaux.

Figure 15n
ÉLÉMENTS D'UN RÉSEAU DE COMMUNICATION
— Coûts approximatifs —

	$
COÛTS DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	
Câbles à paires torsadées	
Câble à 25 paires (posé)	4/m
Dispositif de communication en place (multiplexage temporel)	800–1000/dispositif
Dispositif de communication en place (multiplexage en fréquence)	500/dispositif
Dispositif de communication en place (communication directe)	200–700/dispositif
Câbles coaxiaux	
Câble	5/m
Dispositif de communication en place	2000/dispositif
Dispositif de communication au centre (desservant jusqu'à 90 dispositifs en place)	60 000
Amplificateurs de ligne	2000/dispositif
Source d'alimentation des ampli. de ligne	500/dispositif
Câbles à fibres optiques	
Câble	5/m
Dispositif de communication en place	2500/dispositif
Dispositif de communication au centre	10 000
Radio	
Dispositif de communication en place	5000–6000/dispositif
COÛTS D'INSTALLATION	
Conduite	
PVC, 3 po	15/m
Acier galvanisé, 3 po	30/m
Excavation et remise en état	
Terrain non aménagé	15/m
Trottoir de béton	100/m
Route revêtue de bitume	215/m
Route revêtue de béton	280/m
Fonçage horizontal	200/m
Boites de tirage	500/dispositif
Installation aérienne	6–13/m

15.5 Critères de choix

Les nombreuses configurations possibles d'un réseau de communication permettent de choisir un réseau qui soit adapté aux conditions particulières d'implantation. Le réseau de communication est, de tous les systèmes de gestion d'une autoroute, le plus coûteux en termes de frais d'établissement et de frais d'exploitation. Des critères de choix pour les divers réseaux considérés sont présentés à la figure 15o.

Figure 15o

CRITÈRES DE CHOIX
DES RÉSEAUX DE COMMUNICATION

CRITÈRES DE CHOIX	RÉSEAUX DE COMMUNICATION				
	Loués	Implantés par l'organisme gestionnaire de l'autoroute			
		Câble à paires torsadées	Câble coaxial	Câble à fibres optiques	Radio
Communications					
• Transmission de données des points de surveillance et de régulation au centre de commande	✓	✓	✓	✓	✓
• Transmission de consignes du centre de commande aux points de régulation	✓	✓	✓	✓	✓
• Surveillance par télévision	✓		✓	✓	✓
• Insensibilité aux interférences			✓	✓	
• Possibilité de doubler les circuits			✓		
Installation					
• Frais d'établissement réduits	✓				✓
• Opérations de câblage par une main-d'oeuvre qualifiée				✓	
• Convient à l'installation aérienne		✓	✓	✓	
• Convient à l'enfouissement en pleine terre		✓	✓	✓	
Exploitation					
• Nécessité d'avoir un personnel qualifié			✓	✓	✓
• Fiabilité	✓	✓	✓	✓	✓
• Nécessité de prévoir des répéteurs ou des amplificateurs			✓	✓	

16.
CENTRE DE RÉGULATION

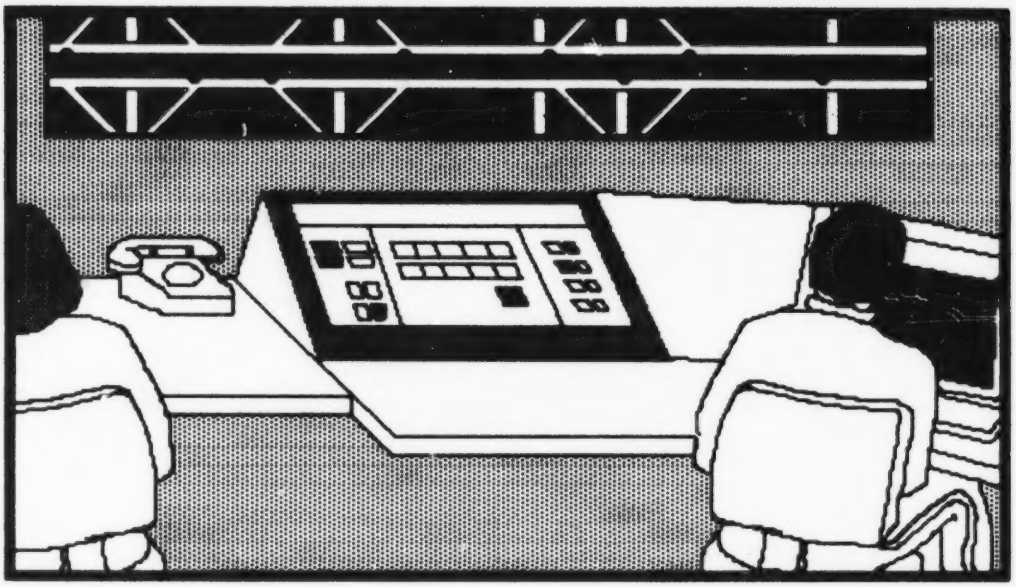


Figure 16a

16.1 Principes

Le centre de régulation, ou centre de commande, reçoit et analyse toutes les données transmises par les divers équipements en place, puis renvoie à chacun les consignes de régulation appropriées. Les opérations effectuées au centre de régulation peuvent varier de façon considérable selon la complexité du système global de gestion de l'autoroute et le nombre d'équipements dont il est constitué.

Dans une comparaison avec les parties du corps humain, le système de détection d'incidents correspondrait aux sens, le réseau de communication, au système de circulation sanguine et le centre de régulation, à la fois au coeur et au cerveau. Les principales opérations de gestion de l'autoroute s'effectuent au centre de régulation avec le concours de personnes représentant les divers organismes intéressés.

16.2 Techniques

L'ordinateur central est l'équipement le plus important du centre de régulation. Il effectue les opérations suivantes :

- collecte des données transmises par les divers équipements en place;
- transmission des données et des consignes de régulation aux équipements en place;
- réception des instructions de l'opérateur du centre de régulation;
- analyse et traitement des données, en vue d'établir les mesures appropriées de régulation;
- édition des données demandées par l'opérateur;
- garde des données en mémoire; et
- liaison possible à divers équipements périphériques.

Coordination

Il convient de s'assurer la participation et la coopération de toutes les parties intéressées dès le début du projet et faire en sorte qu'elles se continuent jusqu'à la mise en exploitation du système et même après. Par parties intéressées, il faut entendre :

a) le ministère provincial des Transports et des Communications (ou les ministères correspondants);

b) les services régionaux et locaux des routes et des transports routiers (et, s'il y a lieu, les services de planification des transports);

c) les services locaux et régionaux de transport en commun;

d) la police provinciale ou municipale de la circulation;

e) d'autres organismes intéressés par un aspect particulier de la régulation (les mesures de priorité aux véhicules à taux d'occupation élevé, par exemple) :
   - — autorités responsables du stationnement;
   - — services de dépannage;
   - — associations de covoiturage;
   - — associations de transport par autocar;
   - — associations de taxi;
   - — chambres de commerce;
   - — associations d'automobilistes;
   - — ministères de l'Environnement et de l'Énergie;
   - — etc.

f) le Centre de développement des transports et l'Administration canadienne des transports de surface, de Transports Canada (pour les projets pilotes).

Il est entendu que seuls les principaux organismes intéressés prendront une part active dans la gestion de l'autoroute et la dotation en personnel du centre de régulation.

On pourrait citer plusieurs exemples aux États-Unis où divers organismes et services ont participé à l'exploitation d'une voie rapide, y compris par leur présence au centre de régulation. Une de ces équipes constituée à Los Angeles était composée de représentants du California Highway Patrol, de membres du personnel d'entretien et d'ingénieurs en trafic routier du ministère des Transports de la Californie et d'employés de services de dépannage.

Jusqu'à ces derniers temps, l'exploitation des autoroutes était, dans la plupart des cas, assurée par le personnel de l'organisme responsable. L'entretien, par contre, était parfois partagé entre l'organisme gestionnaire et des entrepreneurs indépendants. Dernièrement, on a vu davantage de cas où l'exploitation et l'entretien étaient tous deux confiés à des entrepreneurs. Dans les opérations d'envergure, il peut y avoir intérêt à confier certaines fonctions à des entreprises expertes en génie routier, en techniques de surveillance et de régulation du trafic, en informatique et autres domaines connexes.

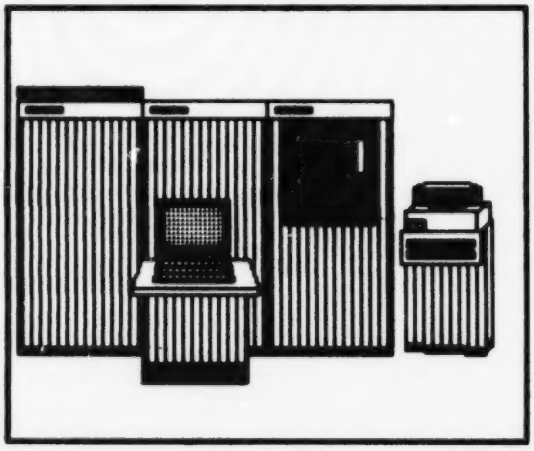
16.3 Équipements

Le centre de régulation est doté des équipements suivants :

- un ordinateur;
- ses organes périphériques (écran de visualisation, imprimante, mémoire de masse);
- des pupitres de commande (de l'ordinateur, du système de signalisation variable, des régulateurs d'accès);
- un ou plusieurs synoptiques;
- des écrans de télésurveillance et des écrans d'affichage graphique;
- les appareils de contrôle des téléphones d'appel d'urgence, des communications radio en BP, du système de radioguidage;
- des magnétophones à cassettes (avec messages préenregistrés); et
- un téléimprimeur pour transmettre aux médias d'information les rapports sur les conditions de la circulation.

L'ordinateur reçoit les données et transmet des consignes aux équipements en place par l'intermédiaire du dispositif central de communication situé au centre de régulation (figure 16b). Ce dispositif fait partie du réseau de communication. Les divers modes de communication possibles ont fait l'objet du chapitre 15.

Figure 16b
ORDINATEUR CENTRAL ET ORGANES PÉRIPHÉRIQUES



L'ordinateur est constitué de l'élément matériel et d'un logiciel dont les programmes contiennent les instructions correspondant au travail à exécuter : collecte, analyse, édition des données, commande des divers équipements, etc.

Le choix de l'ordinateur central sera déterminé par la complexité du système de gestion routière et l'équipement utilisé pour mesurer les paramètres du trafic. Ces deux facteurs doivent être connus pour choisir convenablement la puissance de la mémoire et la vitesse d'exécution de l'ordinateur. Dans certains cas, on préfère utiliser deux ou trois ordinateurs de moindre puissance et répartir entre eux les diverses fonctions. Cette solution garantit le fonctionnement du système en cas de défaillance d'un des ordinateurs et peut s'avérer plus efficace que l'emploi d'un seul ordinateur de puissance équivalente.

Les équipements périphériques servent d'interface entre l'ordinateur et les opérateurs du centre de régulation. Parmi ces équipements, on compte :

1. **Un écran cathodique avec clavier.** Cet équipement permet à l'opérateur d'intervenir dans le programme de l'ordinateur et de visualiser les informations fournies par ce dernier (figure 16c).
2. **Une mémoire.** Le stockage des données peut se faire sur divers supports, soit :

   - disques durs;
   - disques souples; ou
   - bandes magnétiques.

   Ces supports permettent de garder les données en mémoire sous forme compacte (figure 16d).

3. **Des dispositifs d'impression.** Ils donnent des copies sur papier des rapports fournis par l'ordinateur. Divers appareils sont utilisés à cette fin, soit :

   - une imprimante par ligne rapide (figure 16e); et
   - un téléimprimeur (qu'on peut utiliser également pour l'entrée de données).

Figure 16c
ÉCRAN CATHODIQUE

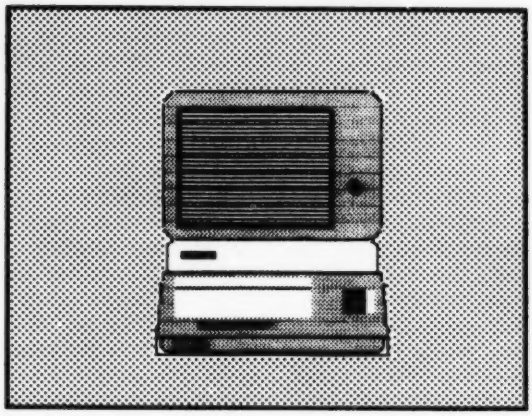


Figure 16d
DÉROULEUR DE BANDE MAGNÉTIQUE

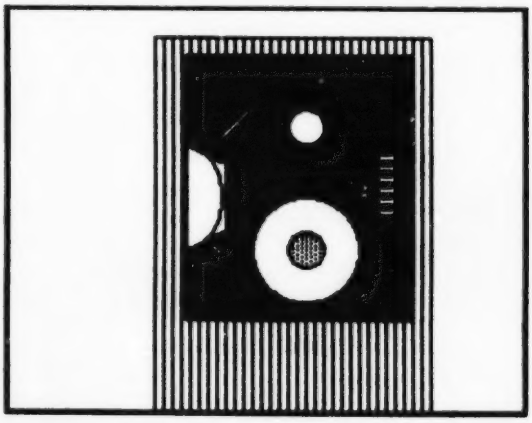
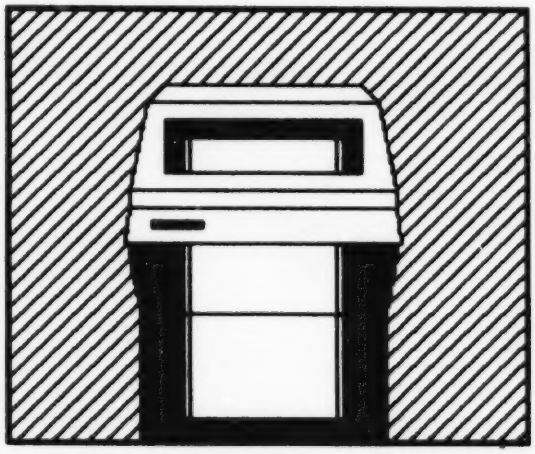


Figure 16e
IMPRIMANTE PAR LIGNE RAPIDE



Le pupitre de commande sert à actionner les divers équipements en place. De ce pupitre, l'opérateur peut régler le cycle de fonctionnement des feux aux bretelles d'accès, ou aux intersections, changer les messages sur les panneaux de signalisation variable, etc. Le pupitre de commande est généralement conçu en fonction du système qu'il doit servir à régler (figure 16f).

Le synoptique (figure 16g) affiche l'état du réseau à chaque instant. On peut l'utiliser pour fournir des explications aux visiteurs, l'information qu'il transmet étant sous forme très accessible. En règle générale, chaque détecteur et chaque régulateur est représenté sur le synoptique par des voyants de différentes couleurs correspondant chacun à un état défini. Les voyants représentant un détecteur indiquent l'état de la circulation à cet endroit (vert pour la fluidité, jaune pour l'encombrement et rouge pour un bouchon).

En remplacement ou en complément au synoptique, on peut utiliser un écran d'affichage graphique (figure 16h).

Figure 16g
SYNOPTIQUE

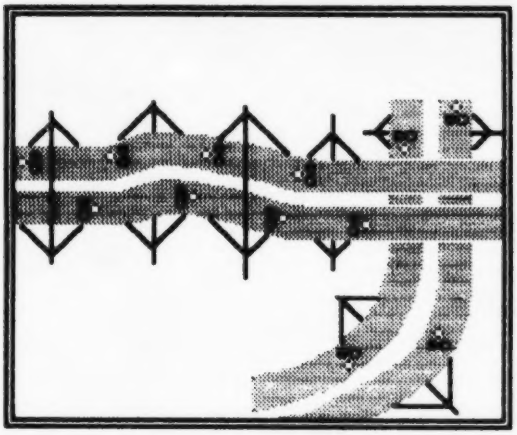


Figure 16f
PUPITRE DE COMMANDE

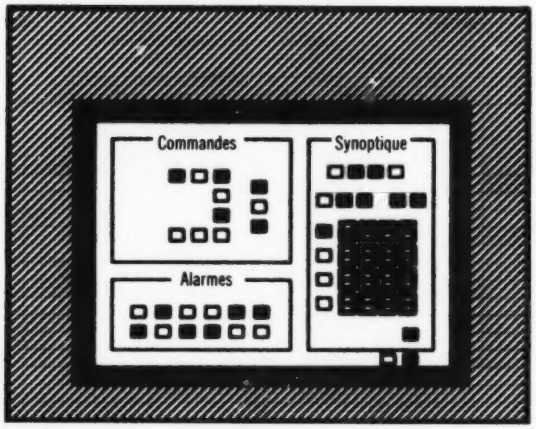
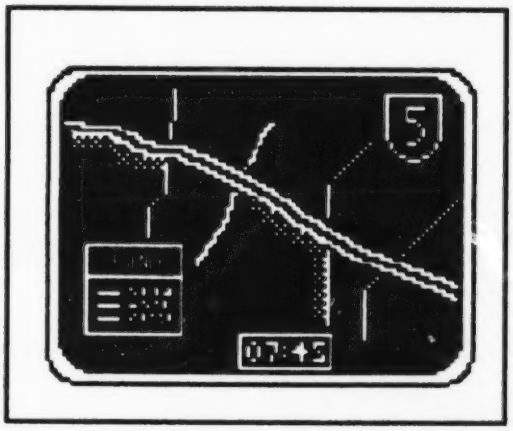


Figure 16h
ÉCRAN GRAPHIQUE



16.4 Coûts

Il est entendu que le coût des installations du centre de commande dépendra de la complexité et de l'étendu du système de régulation. Le coût représentatif de divers équipements est indiqué à la figure 16i pour guider les ingénieurs dans leurs estimations. Les chiffres indiqués n'incluent pas les coûts des équipements de communication.

Figure 16i
COÛT DES ÉQUIPEMENTS DU CENTRE DE RÉGULATION

ÉQUIPEMENTS	COÛT ($)
Processeur central	70 000 – 150 000
Écran cathodique	12 000
Imprimante par ligne	4 000
Unité de disques	12 500
Dérouleur de bande magnétique	10 000
Synoptique	75 000 – 125 000
Pupitre de commande	5 000 – 20 000

16.5 Critères de choix

Le choix des équipements du centre de régulation sera déterminé, dans une large mesure, par la configuration du système de gestion envisagé, lui-même déterminé par les conditions particulières d'implantation. La figure 16j énumère les diverses opérations qui devront être effectuées au centre de régulation.

Figure 16j
CRITÈRES DE CHOIX DES ÉQUIPEMENTS DU CENTRE DE RÉGULATION

	ÉQUIPEMENT REQUIS											
									Équipements de contrôle			
CRITÈRES DE CHOIX	Ordinateur	Écran cathodique	Imprimante	Pupitre de commande	Synoptique	Écran graphique	Signalisation variable	Radioguidage	Radio BP	Régulateurs d'accès	Feux de circulation	Télévision en circuit fermé
Exemples de systèmes de gestion												
• Petit système de surveillance (contrôle de la circulation et collecte de données)	✓		✓	✓								
• Système de radioguidage routier			✓	✓				✓				
• Système de surveillance et de régulation, comprenant signalisation variable, radioguidage, régulation d'accès, intervention en cas d'incidents	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Contrôles												
• Écoulement du trafic	✓	✓	✓		✓	✓						✓
• Incidents	✓	✓	✓						✓			
• Confirmation d'incidents	✓											✓
• Feux de circulation	✓	✓	✓		✓	✓					✓	
• Régulateurs d'accès	✓	✓	✓		✓	✓				✓		
• Détournement/Délestage	✓	✓	✓				✓	✓				
• Défaillance de l'équipement	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

17.
IMPLANTATION D'UN SYSTÈME DE GESTION D'AUTOROUTES

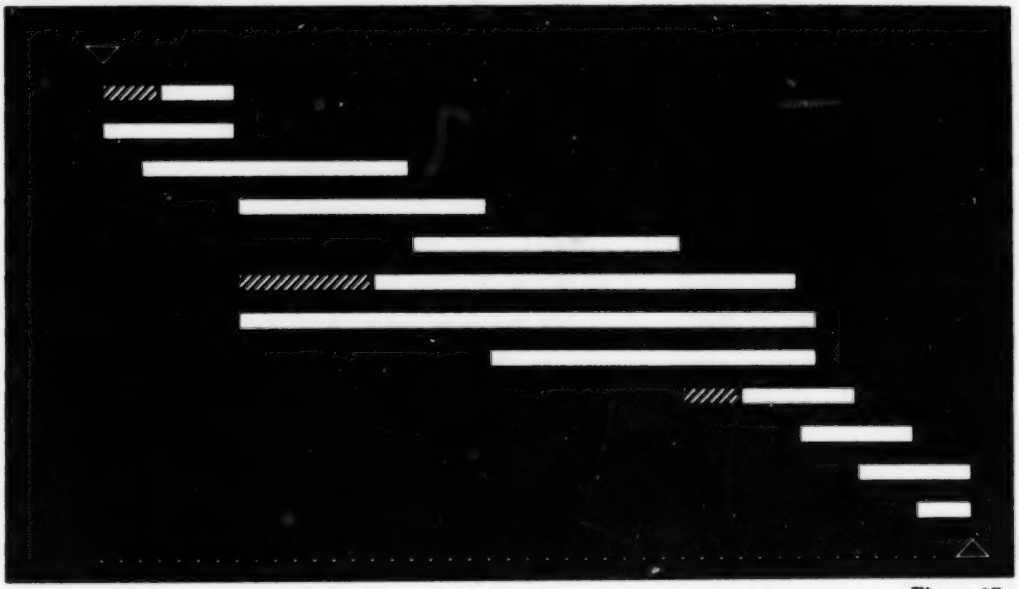


Figure 17a

17.1 Étapes

L'implantation d'un système de gestion d'autoroute est une tâche complexe qui s'effectue en cinq grandes étapes :

- définition des problèmes de circulation et des moyens à mettre en oeuvre pour les régler;
- étude de faisabilité;
- conception et implantation;
- intégration, exploitation et entretien;
- contrôle, évaluation et perfectionnement.

La figure 17b donne les principales activités reliées aux diverses étapes de la réalisation et de l'exploitation d'un système de gestion d'autoroute.

Dans le cadre de l'étude de faisabilité, il y a intérêt à élaborer un plan de gestion du trafic englobant le réseau autoroutier et les réseaux associés de toute la région urbaine en question. Cette approche facilitera la définition des diverses étapes de réalisation ainsi que l'établissement d'un calendrier provisoire. Elle évitera peut-être aussi l'apparition de problèmes importants et coûteux lorsqu'il s'agira d'étendre le système implanté ou de l'intégrer au système de régulation du réseau de surface.

La définition des étapes d'implantation d'un système de gestion d'autoroute doit tenir compte de plusieurs facteurs pour éviter de mettre simultanément en marche plus d'activités qu'il n'est possible de mener à bien. Notons, par exemple :

- les contraintes techniques : continuité du système, sujétions d'ordre spatial, limites des éléments constitutifs, etc.;
- les possibilités techniques : effet de synergie obtenu grâce à l'association de mesures persuasives et dissuasives complémentaires, étalement dans le temps et dans l'espace des diverses mesures implantées, incorporation des progrès technologiques les plus récents, etc.;
- les contraintes financières : fonds qu'il faut obtenir en temps opportun de toutes les parties intéressées, priorités de l'organisme d'exploitation, etc.;
- les contraintes administratives : résistance aux mesures de régulation des accès, résis-

tance au délestage par des parcours parallèles, partage des coûts et des revenus entre les services de transport urbains et régionaux, etc.;

- la collaboration des usagers : avantages immédiats faciles à démontrer, priorité aux véhicules à taux d'occupation élevé justifiable, application opportune de mesures persuasives et de mesures dissuasives, etc.

Pour être en mesure de faire un choix judicieux quant au système de gestion d'autoroute à implanter et aux moyens de surveillance, de vérification, d'intervention et de régulation à mettre en oeuvre à chaque étape d'implantation, les planificateurs et les ingénieurs devront :

- connaître les grandes questions susceptibles d'influencer les décisions (voir les considérations ci-dessus et la figure 3b);
- définir les objectifs prioritaires pour l'ensemble du système envisagé ainsi que pour chacune des étapes d'implantation, puis les moyens à mettre en oeuvre pour y parvenir (voir les figures 2b et 2f), en tenant compte des possibilités et des contraintes propres à chaque cas particulier (voir figure 3b);
- chercher à rentabiliser au maximum les capitaux consentis par une association habile des divers moyens de gestion du trafic disponibles (voir figure 3f);
- tenir compte des orientations particulières de chaque étape d'implantation du système (voir figure 17b);
- solliciter la participation de toutes les parties intéressées.

17.2 Participation

Il importe, pour la bonne marche du projet, de s'assurer la participation et la coopération de toutes les parties intéressées dès le début, c'est-à-dire depuis la définition même des problèmes de circulation, et de faire en sorte que cela se continue tout au long du projet, y compris aux étapes du contrôle, de l'évaluation et de la mise au point du système.

Le nombre d'intéressés variera selon que le projet est situé dans une zone urbaine ou une zone rurale. Il s'agira notamment de chercheurs, de planificateurs, de concepteurs et de gestionnaires représentant divers ministères des gouvernements fédéral et provinciaux, des municipalités, ainsi que le secteur privé : bureaux de conseils, entreprises de transport et associations diverses. Il est d'usage en pareil cas de créer un comité directeur composé de représentants de toutes les parties intéressées pour contrôler la gestion du projet et servir d'organe de consultation et de coordination.

Les divers organismes et associations susceptibles d'intervenir dans la mise en place d'un système de gestion d'autoroute au Canada et aux États-Unis sont énumérés aux figures 17c et 17d respectivement.

Figure 17b

ÉTAPES DE LA RÉALISATION D'UN SYSTÈME DE GESTION D'AUTOROUTES

ÉTAPE	DESCRIPTION
1. Définition des problèmes	Définition des problèmes de circulation et inventaire des possibilités de solution par la gestion du trafic.
2. Étude des solutions possibles	Revue des techniques de gestion du trafic aptes à solutionner les problèmes définis en 1., en tenant compte des conditions particulières d'application.
3. Étude de faisabilité	Analyse approfondie des techniques de gestion envisagées et proposition du système optimum à implanter.
4. Conception (plans et devis) et estimation des coûts	Préparation des plans et devis et estimation des coûts pour le système de gestion choisi.
5. Appel d'offres et attribution du marché	Définition des qualifications exigées des soumissionnaires, publication de l'appel d'offres et choix du titulaire du marché.
6. Construction	Passation de marchés avec l'entreprise de construction et les fournisseurs d'équipements choisis et mise en place des équipements.
7. Inspection des travaux	Surveillance et contrôle de la qualité des travaux et des équipements installés pour s'assurer que les normes et prescriptions sont respectées.
8. Choix des consultants	Choix de la méthode de sélection des consultants (formule de "Demande de proposition" ou autre procédé), si besoin est, pour les étapes suivantes : — intégration des éléments du système et essais de réception — exploitation du système — entretien — évaluation — amélioration.
9. Intégration des éléments du système et essais de réception	Élaboration des logiciels d'exploitation et mise à l'essai pour vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble du système et de chacun de ses éléments.
10. Exploitation	Définition du cadre et des procédés d'exploitation et dotation en personnel.
11. Entretien	Dotation en personnel et en matériel d'entretien des équipements en place comme de ceux du centre de régulation.
12. Évaluation	Définition des critères d'efficacité, contrôle périodique ou continu, évaluation du rendement de l'ensemble du système et de chacun des éléments constitutifs.
13. Amélioration	Définition et correction des défauts du système, amélioration globale du système.

Figure 17c

ORGANISMES ET ASSOCIATIONS SUSCEPTIBLES D'INTERVENIR DANS LA MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME DE GESTION D'AUTOROUTES AU CANADA

GOUVERNEMENT FÉDÉRAL

- Transports Canada
  - — Centre de développement des transports
  - — Planification urbaine et transports de surface
  - — Transports routiers
  - — Sécurité des véhicules et sécurité routière
- Énergie, Mines et Ressources Canada
  - — Division de l'énergie reliée au transport
- Environnement Canada
  - — Service de la protection de l'environnement
  - — Parcs Canada
- Affaires indiennes et du Nord Canada
  - — Direction générale des services techniques et des marchés

GOUVERNEMENT PROVINCIAL

- Ministère des Transports et des Communications
  ou
- Ministère de la voirie et des transports routiers

  Administration centrale/Bureau régional
  - — Recherche et développement
  - — Énergie et transports
  - — Planification des transports urbains
  - — Planification des transports en commun
  - — Technique de la circulation
  - — Programme de construction routière
  - — Communications
  - — Étude du tracé des routes
  - — Gestion de marchés
  - — Construction
  - — Entretien et exploitation
  - — Sécurité
- Police provinciale (Solliciteur général)
- Ministère de l'Environnement et de l'Énergie

ADMINISTRATION MUNICIPALE
(Locale et régionale)

- Service de la voirie et de la circulation
- Service de la planification des transports
- Entreprises de transport en commun
- Autorités responsables du stationnement
- Police municipale (et Gendarmerie royale)

SECTEUR PRIVÉ

- Services de dépannage
- Associations de covoiturage
- Compagnies de taxis
- Associations de compagnies d'autocars
- Associations provinciales et nationales d'entreprises de camionnage
- Exploitants de garages ou de terrains de stationnement
- Associations d'automobilistes
- Chambres de commerce
- Médias d'information
- Entrepreneurs — construction — entretien
- Experts en — recherche — planification — conception — gestion et exploitation
- Autres (s'il y a lieu)

Figure 17d

ORGANISMES ET ASSOCIATIONS SUSCEPTIBLES D'INTERVENIR DANS LA MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME DE GESTION D'AUTOROUTES AUX ÉTATS-UNIS

ADMINISTRATION FÉDÉRALE

- Federal Highway Administration (transports routiers)
  - — Bureau des transports routiers
  - — Division de la technique de la circulation
  - — Division de la signalisation, des communications et de l'éclairage des voies
  - — Autres
  - — Bureau de la sécurité des transports routiers Recherche et développement
  - — Division de la gestion des transports urbains
  - — Division de la sécurité et de la conception
  - — Autres
  - — Bureau régional
  - — Bureau local
- Urban Mass Transportation Administration (Transports publics urbains)
  - — Bureau des projets pilotes
  - — Autres

SECTEUR PRIVÉ

- Consultants
  - — Intégration des éléments constitutifs du système
  - — Évaluation du système
  - — Planification et conception
  - — Exploitation
- Entrepreneurs
  - — Construction
  - — Entretien
- Services de dépannage
- Autres (s'il y a lieu)

ÉTATS ET MUNICIPALITÉS

- Ministères des Transports
  - — Administration centrale et bureau régional
- Services municipaux des transports
- Services des travaux publics
- Commissions des parcs et loisirs (État)
- Bureau des services généraux (État)
- Police — État
  - — Comté
  - — Municipalité
- Organisme local de planification urbaine
- Services régionaux des ministères des Transports
  - — Sécurité et transports routiers
  - — Entretien
  - — Planification
  - — Conception
  - — Déversements d'hydrocarbures
  - — Construction
  - — Exploitation

17.3 Programmes de soutien nécessaires

La mise en oeuvre de solutions nouvelles aux problèmes de circulation est souvent entravée par certaines réticences de la part des milieux professionnels, par l'indifférence des milieux politiques et par la force de l'inertie. Dans le cas qui nous occupe, il existe plusieurs raisons, notamment :

- l'implantation d'un système de gestion d'autoroute, du point de vue purement technique, est une entreprise beaucoup plus complexe que la construction de nouvelles voies de circulation;
- l'implantation d'un système de gestion d'autoroute fait appel à des concepts analytiques et administratifs tout à fait nouveaux avec lesquels les planificateurs et les ingénieurs de trafic routier ne sont pas nécessairement familiers, par exemple :
  - — la gestion de la demande de circulation (qui va au-delà de la simple amélioration du débit sur une route donnée);
  - — la priorité ou l'exclusivité aux véhicules à taux d'occupation élevé;
  - — la capacité d'un corridor de circulation (c'est-à-dire autoroute et réseau parallèle) en termes de personnes transportées plutôt que de véhicules écoulés, compte tenu du potentiel de délestage des artères parallèles;
  - — les horaires de travail souples consentis par les employeurs pour mieux étaler la période de pointe;
  - — etc.;
- l'expérience de ceux qui possèdent le plus d'ancienneté dans les organismes de planification des transports routiers repose davantage sur l'approche des années 60 — début 70, où on solutionnait pratiquement toujours les problèmes de circulation par la construction d'une nouvelle route, et porte donc sur le genre d'études de faisabilité de tracés qui se faisaient alors et sur la conception de routes;
- l'implantation d'un système de gestion d'autoroute n'a pas l'impact politique que peut avoir la cérémonie d'ouverture officielle d'une nouvelle autoroute.

On peut comprendre une certaine réticence face à une approche qui est non seulement nouvelle, mais plus complexe que celle dont on a l'expérience. Encore aujourd'hui, bon nombre d'organismes responsables de réseaux routiers envisagent plus volontiers la construction d'un nouvel ouvrage que l'implantation de techniques de gestion du trafic. Il n'est pas rare que des mesures prometteuses et sans aucun doute rentables soient refusées, même rejetées après leur mise en oeuvre, faute d'avoir été appuyées par un programme de soutien bien planifié. Pour faire accepter le principe de la gestion des réseaux routiers, il faut en faire valoir, auprès des décisionnaires concernés, l'efficacité et la rentabilité, ainsi que l'intérêt qu'il présente du point de vue de la sécurité des usagers, de l'économie d'énergie et de la protection de l'environnement. Un projet de gestion d'autoroute ne peut réussir sans un bon programme de soutien couvrant toutes les étapes de sa réalisation. Un tel programme devrait comprendre notamment :

- un programme de sensibilisation pour gagner l'appui des gestionnaires et des décisionnaires;
- un programme de relations publiques visant les médias d'information, les éventuels usagers et le grand public;
- un plan établissant les étapes d'implantation en tenant compte des contraintes techniques, financières et politiques;
- un plan de financement prévoyant tous les crédits nécessaires à l'implantation du système envisagé et permettant d'obtenir en temps opportun la contribution de chaque partie intéressée;
- un programme de perfectionnement destiné au personnel appelé à participer aux opérations ainsi qu'aux autres personnes intéressées;
- un programme d'exploitation et d'entretien définissant, à l'intention du personnel concerné, toutes les étapes de ces deux fonctions;
- un programme de recherche visant à faire progresser l'état des connaissances dans le domaine de la gestion des autoroutes et reposant sur le contrôle des techniques mises en oeuvre et sur les échanges avec les gestionnaires d'autres projets semblables afin d'éviter les tâtonnements inutiles;
- un programme de contrôle, d'évaluation et de mise au point permettant, grâce au contrôle des techniques et équipements implantés, de mesurer l'efficacité et la rentabilité du système et de définir les corrections ou les améliorations à apporter à ce dernier.

18.
ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE GESTION D'AUTOROUTES

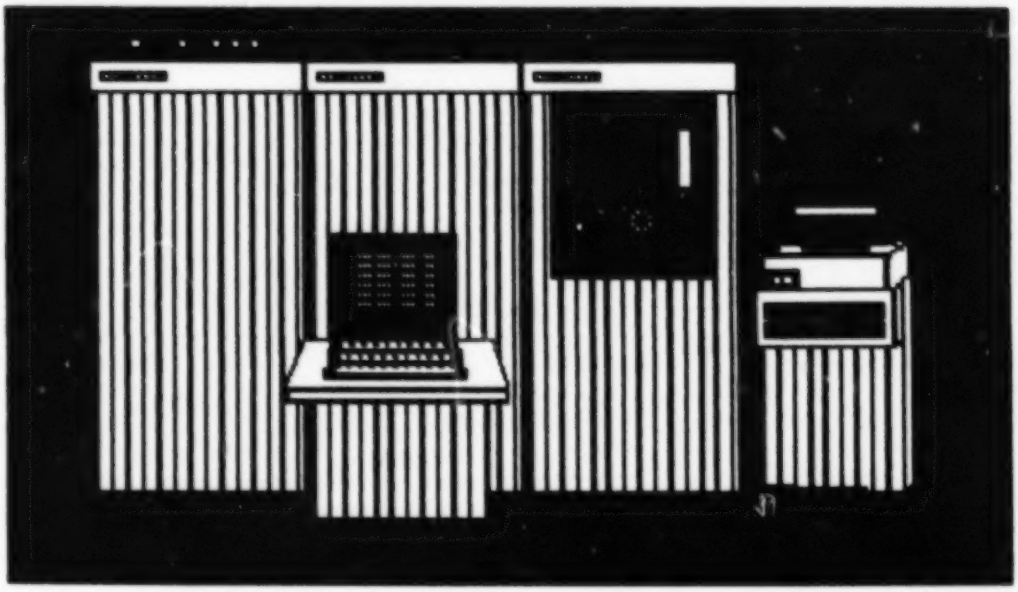


Figure 18a

18.1 Techniques d'évaluation

Il existe plusieurs techniques pour évaluer les systèmes de gestion d'autoroute envisagés; certaines ont déjà été abordées dans ce rapport.

1) **Figures des avantages et des inconvénients** — elles présentent les principaux avantages et inconvénients associés à la technique considérée (se reporter aux chapitres 5 à 11, 14 et 15).

2) **Figures des critères de sélection** — elles indiquent si la technique envisagée peut s'appliquer ou non dans le cas considéré ou, simplement, si elle est à préférer à d'autres, la réponse étant fonction de critères (ou situations) précis (se reporter aux chapitres 4 à 11 et 13 à 16).

3) **Figures des cotes de performance** — elles servent à classer les différentes techniques envisagées, en fonction des résultats ou du rendement escomptés. Les cotes se résument à faible, moyen et élevé (se reporter à la figure 12f, chapitre 12).

4) **Figures de cotation pondérée** — elles servent à comparer les différentes solutions envisagées, selon la méthode des points où chaque solution est d'abord cotée de 1 à 10 à l'égard de chacun des critères d'évaluation, les cotes attribuées étant par la suite affectées d'un coefficient de pondération qui reflète l'importance relative de ces derniers; la meilleure solution est celle dont le total des points accumulés est le plus élevé.

5) **Indicateurs d'efficacité** — il s'agit des principaux paramètres à contrôler pour se faire une idée du système mis en place (se reporter en 18.2). Dans la mesure où des hypothèses de base valables ont pu être posées et que les impacts ont pu être estimés, ces indicateurs d'efficacité peuvent également servir à comparer différentes solutions en concurrence.

6) **Analyses coûts-avantages** — ils comparent la rentabilité économique des différentes solutions envisagées, se fondant sur les

coûts de transport correspondants (immobilisation, exploitation, entretien, valeur de récupération des réseaux routiers et de transport en commun et des véhicules) et, entres autres, sur les critères suivants :

— coût annuel uniforme équivalent
— coût actualisé
— rendement annuel net uniforme équivalent
— valeur actuelle nette
— ratio avantages/coûts, et
— taux de rentabilité financière.

Les techniques 3, 4 et 5 sont toutes une composante des analyses coûts-efficacité, lesquelles constituent une analyse économique complémentaire aux analyses coûts-avantages. Les analyses coûts-efficacité partent du principe que les coûts de réalisation du projet considéré (ici la mise en place d'un système de gestion d'autoroutes) peuvent être exprimés en termes monétaires non équivoques tandis que l'efficacité avec laquelle les dépenses engagées concourent à la réalisation des objectifs socio-économiques visés, (soit le rapport entre les avantages et les inconvénients du projet) ne peut, quant à elle, être mesurée qu'en termes qualitatifs. Cette technique cherche à cerner les conséquences socio-économiques (ici d'un investissement routier) aussi bien sur les usagers du projet considéré, et sur ceux qui sont touchés sans être des usagers, que sur le public en général, sans oublier l'impact écologique. Dans une analyse exhaustive, on prendra également en compte les retombées ou effets externes de l'investissement, notamment les conséquences sur le développement économique et la répartition des ressources.

Par un raffinement de ces techniques, on arrive à une évaluation plus fine des investissements routiers, divisés au préalable en tranches réalisables séparément. Il s'agit de l'analyse marginale (qui est en réalité une étape de l'analyse de la valeur fonctionnelle d'un projet) dans laquelle on calcule et met en comparaison les rapports avantages-coûts ou les cotes pondérées des diverses tranches dont il est question ci-dessus. Cette technique d'évaluation perfectionnée est particulièrement utile dans le cas des grands projets complexes d'investissement routier, notamment dans les centres urbains entièrement développés où la mise en place échelonnée d'un système de gestion d'autoroutes peut marquer le début d'un programme global d'amélioration des conditions de la circulation urbaine. Conduites avec rigueur, ces analyses mettent souvent en lumière qu'il est nettement préférable d'axer les investissements sur les systèmes de gestion de la circulation plutôt que sur le développement du réseau routier. À preuve, les rapports avantages-coûts et les cotes pondérées généralement supérieurs dégagés par les projets du premier type.

Quant à savoir laquelle des techniques d'analyse ou d'aide à la décision à utiliser, la réponse dépend de la nature, préliminaire ou définitive, de l'évaluation envisagée, de l'abondance et de la fiabilité des données disponibles et, enfin, des ressources dont on dispose. À tout événement, qu'elles soient utilisées pour une rapide évaluation sommaire ou une évaluation détaillée multiphasée, leur exploitation judicieuse nécessitera une bonne dose de jugement personnel et professionnel. Or, ce jugement dépend en grande partie de la formation et de l'expérience de l'analyste concerné, de ses préférences personnelles et, dans le cas précis qui nous préoccupe, de ses lieux de résidence et de travail, comme de la position tant officielle que non déclarée de son organisme en ce qui concerne les systèmes de gestion d'autoroute.

En somme, peu importe la ou les techniques d'évaluation utilisées, il faut tenir compte d'une foule de considérations techniques complexes, procéder avec un soin méticuleux, n'utiliser que des données fiables et appliquer froidement les préceptes d'un sain jugement professionnel si l'on veut se faire une idée juste de la valeur relative des projets d'investissement concurrents en termes de coûts-efficacité ou de rentabilité.

18.2 Indicateurs d'efficacité généraux

Les concepts de systèmes de gestion d'autoroute qui ont été émis ont tous un même objectif : fluidifier la circulation pour réduire la durée et la pénibilité des déplacements automobiles dans le secteur considéré, aussi bien en voiture particulière qu'en véhicule utilitaire. Afin de parvenir à ce but, tous les systèmes mettent en oeuvre un ensemble de moyens dont la composition peut varier d'un cas à l'autre (voir chapitre 2, figures 2b et 2f). En vue de pouvoir déterminer dans quelle mesure un système donné réussit à atteindre les buts et objectifs fixés au départ et aussi pour cerner les perfectionnements possibles ou les changements stratégiques ou tactiques qui s'im-

posent, il faut avoir élaboré un jeu cohérent d'indicateurs d'efficacité au moyen desquels mesurer les résultats obtenus.

Ces indicateurs pourront être utilisés séparément ou en combinaison, suivant le genre de système à évaluer, mais il est important de rappeler qu'ils doivent permettre une appréciation quantitative du fonctionnement courant de ce dernier. Nous présentons ici trois jeux d'indicateurs utilisables, soit :

- indicateurs d'efficacité généraux (figure 18b)
- indicateurs d'efficacité axés sur le trafic écoulé (figure 18c)
- indicateurs d'efficacité axés sur les temps de parcours (figure 18d)

Il est important que les indicateurs d'efficacité soient suffisamment explicites et que l'on ait spécifié toutes les unités de mesure à utiliser si l'on veut que la collecte et l'analyse des données puissent prendre en compte tous les aspects utiles de la question, notamment :

— l'heure du jour, le jour de la semaine, les jours fériés, la saison;
— les conditions de la circulation;
— la nature des incidents;
— le type et le taux d'occupation des véhicules;
— le tronçon ou le genre d'aménagement visé du corridor routier (section courante, voie de service, artère parallèle);
— l'emplacement des stations de comptage et d'enquête routiers; ainsi que
— les zones visées et les résultats d'ensemble.

Naturellement, la collecte de données inutilisables pour les fins de l'évaluation est a éviter.

En ce qui concerne les figures 18c et 18d, il convient de rappeler qu'elles ont été élaborées en vue de l'évaluation d'un très important système de gestion d'autoroutes (IMIS) en cours d'aménagement dans un grand centre urbain; évidemment, l'évaluation d'autres systèmes ne devra pas nécessairement faire appel à un nombre aussi grand d'indicateurs, ni nécessairement aux mêmes indicateurs. Les figures proposées n'ont pour but que de souligner l'importance de déterminer au départ l'utilisation qui sera faite des données à recueillir. Bref, les indicateurs d'efficacité utilisés varieront d'un cas à l'autre, suivant la taille du système considéré, l'importance accordée à une connaissance plus ou moins détaillée de sa performance et les ressources dont on dispose pour la collecte et l'analyse des données.

Figure 18b

INDICATEURS D'EFFICACITÉ GÉNÉRAUX

OBJECTIFS	MOYENS	INDICATEURS D'EFFICACITÉ
1. Amélioration du rendement-véhicules	• Améliorer le rendement du corridor aux heures de pointe • Répondre à la demande sans modifier les infrastructures	• Débit de circulation en des points choisis du corridor • Véhicules-kilomètres écoulés
2. Réduction du temps de parcours et prévisibilité accrue	• Réduire les temps de parcours moyen • Réduire la fluctuation des temps moyens de parcours • Réduire le nombre d'incidents	• Temps de parcours (en véhicules-heures) • Variance des temps de parcours (en véhicules-heures) • Nombre d'incidents par période de pointe
3. Détection et intervention rapides en cas d'incidents	• Réduire le délai de détection • Réduire le délai d'intervention • Réduire le temps d'intervention	• Temps de détection • Délai d'intervention • Temps d'intervention
4. Aide prompte aux automobilistes en difficulté	• Réduire le délai entre l'arrêt du véhicule et la communication avec les autorités • Réduire le délai avant l'arrivée des secours	• Délai de détection de l'incident • Délai d'intervention
5. Accroissement de la sécurité	• Réduire le nombre d'accidents • Réduire le nombre d'accidents secondaires • Réduire la gravité des accidents	• Nombre d'accidents • Nombre d'accidents secondaires • Nombre de morts, de blessés et d'accidents matériels
6. Réduction de la pollution atmosphérique	• Réduire les émissions polluantes	• Quantité de CO_2, d'imbrûlés et de NO_x (en mg/m^3 aux points de mesure)
7. Économie d'énergie	• Réduire la consommation directe et indirecte d'énergie	• Litres de carburant consommés sur le réseau pour la construction et l'entretien • Tonnes d'asphalte utilisées
8. Réduction des frais d'utilisation des véhicules	• Réduire les frais de carburant et d'entretien	• Économie de consommation et d'entretien (en dollars)
9. Amélioration de l'information des usagers	• Rendre l'information routière accessible à un plus grand nombre d'usagers • Réduire le nombre des automobilistes égarés • Réduire les accidents attribuables à une mauvaise signalisation • Accroître la fiabilité des informations fournies aux usagers	• Nombre d'automobilistes atteints • Nombre d'automobilistes s'informant par bande publique ou bifurquant à la dernière minute pour sortir • Nombre d'accidents • Fiabilité des informations
10. Accroissement du confort des usagers	• Faciliter la conduite automobile	• Impressions/perceptions des automobilistes
11. Amélioration du réseau existant	• Optimiser le rendement du réseau existant (utilisation de toutes les voies parallèles) • Éviter ou retarder la construction de nouvelles infrastructures	• Degré d'équilibrage des volumes de trafic • Nombre d'années de report et économie d'investissement correspondant
12. Réduction du volume du trafic de pointe	• Encourager le covoiturage et l'utilisation des transports en commun	• Augmentation des véhicules de covoiturage à 2, 3, 4 passagers ou plus • Augmentation de la clientèle des transports en commun • Proportion des autobus express
13. Développement des connaissances et de l'expérience en gestion d'autoroute	• Accumuler des données applicables à la planification et à l'étude de nouveaux systèmes au Canada	

REMARQUE: L'auteur s'est inspiré d'un tableau paru dans le rapport "IMIS Evaluation Plan" de la FHWA des États-Unis.

Figure 18c

INDICATEURS D'EFFICACITÉ AXÉS SUR LE DÉBIT
—Exemples de tableaux ou graphiques—

TABLEAU ou GRAPHIQUE	FONCTION
Variation de débit en situation normale (sans incident)	
• sur lignes-écrans à différentes heures du jour	• déterminer variation de la capacité totale du corridor routier
• par autoroute et par voie parallèle, sur lignes-écrans à différentes heures du jour	• déterminer les glissements de la demande d'une infrastructure à l'autre
• aux points de congestion normalement saturés en période de pointe (avant implantation)	• déterminer l'ampleur de l'augmentation de capacité aux points critiques
• sur liaisons routières choisies (cas par cas)	• cerner les impacts localisés des mesures prises
• par couple bretelle d'accès/artère parallèle	• déterminer le taux de détournement des usagers vers le réseau de surface selon le temps d'attente aux accès
Variation de débit en situation d'incident	
• en amont et en aval de l'incident sur autoroute	• déterminer si le volume écoulé à augmenté
• sur bretelle de sortie en amont, sur voies parallèles et sur voies de liaison	• déterminer le taux de détournement selon le type et la durée de l'incident
Variation de débit en conditions moyennes	
• en différents points d'un même axe, à différentes heures du jour	• déterminer la variation dans le volume global écoulé dans le corridor considéré
• par autoroute, par voie parallèle, à différents points sur axe, à différentes heures du jour	• déterminer les glissements de la demande entre infrastructures concurrentes
Variation des véhicules-kilomètres parcourus, en conditions moyennes, situation normale et situation d'incident	
• dans le corridor entier, à différentes heures du jour	• déterminer les jours d'observation à comparer, en fonction des véhicules-kilomètres parcourus
• par autoroute, par voie parallèle, à différentes heures du jour	• déterminer les glissements de la demande d'une infrastructure à l'autre
• en zones choisies, si différentes heures du jour	• déterminer les glissements localisés dans la répartition des courants de circulation
Variation du taux d'occupation en période de pointe	
• taux d'occupation moyen des véhicules en période de pointe, relevé sur ligne-écran	• déterminer le nombre de personnes-kilomètres transportées
• taux d'occupation des véhicules, relevé sur ligne-écran (aussi, à différentes heures du jour)	• déterminer le nombre et le pourcentage des véhicules transportant 1, 2, 3, 4 personnes ou plus
Variation du nombre de personnes-kilomètres transportées en période de pointe	
• dans le corridor routier, conditions moyennes	• déterminer la variation dans l'ensemble du corridor en termes de personnes-kilomètres transportées
• par autoroute, par voie parallèle en différents points sur axe (aussi à différentes heures du jour)	• déterminer les glissements de la demande, exprimée en personnes-kilomètres, entre infrastructures concurrentes
Composition de la circulation (types de véhicules) par période	
• nombre total par type de véhicules, sur ligne-écran et pour infrastructures ou tronçons choisis	• déterminer les courbes de distribution des véhicules par type

REMARQUE : l'auteur s'est inspiré du tableau présenté par JHK & Associates/Dunn Engineering, P.C., dans leur soumission relative au projet IMIS de la FHWA/U.S. DOT.

Figure 18d

INDICATEURS D'EFFICACITÉ AXÉS SUR LE TEMPS DE PARCOURS
—Exemples de tableaux ou graphiques—

TABLEAU ou GRAPHIQUE	FONCTION
Vitesses moyennes avant et après aménagement en conditions moyennes, situation normale et situation d'incident	
• par période sur autoroutes et voies parallèles choisies — mesure par véhicule mobile ou par détecteur	• Montrer au moyen de courbes les variations de la vitesse moyenne : les courbes "autoroutières" renseignent sur l'efficacité de la régulation des accès; les courbes "de surface" sur celle du plan des feux de circulation
Taux d'occupation de la chaussée avant et après aménagement en conditions moyennes sans incident	
• par période sur autoroutes	• déterminer la densité de la circulation ou le degré de congestion
Pourcentage du temps où le taux d'occupation dépasse le seuil critique en conditions moyennes, situation normale et situation d'incident	
• par période sur autoroutes	• déterminer la proportion du temps où une autoroute ou une section d'autoroute est congestionnée
Variation du temps de parcours en conditions moyennes, situation normale et situation d'incident	
• sur autoroutes, par période du jour (à utiliser en association avec les tables de temporisation aux accès) — à déterminer par essais directs (véhicules) — à tirer des données fournies par le système de controle	• déterminer l'impact de la régulation d'accès
• sur voies parallèles, par période du jour	• déterminer l'impact du plan des feux mis en oeuvre
Variation du nombre total de véhicules-heures en conditions moyennes, situation normale et situation d'incident	
• pour le corridor entier, à différentes heures du jour	• mesurer le gain de temps global
• par autoroute, par voie parallèle, à différentes heures du jour	• déterminer les écarts entre variations sur autoroutes et sur voies parallèles
• par zone choisie, à différentes heures du jour	• déterminer la variation localisée des temps de parcours

suite page 139

INDICATEURS D'EFFICACITÉ AXÉS SUR LE TEMPS DE PARCOURS (suite)
—Exemples de tableaux ou graphiques—

TABLEAU ou GRAPHIQUE	FONCTION
Variation du coefficient de variation des véhicules-heures en conditions moyennes et en situation normale	
• corridor entier, à différentes heures du jour	• déterminer le changement intervenu dans la variabilité globale des temps de parcours
• sur autoroute, sur voie parallèle, à différentes heures du jour	• déterminer la variabilité des temps de parcours global par catégorie d'infrastructure
• par zone, à différentes heures du jour	• déterminer la variabilité de temps de parcours global par zone
Variation du coefficient de variation des temps de parcours en conditions moyennes, en situation normale et en situation d'incident	
• par période du jour sur liaisons choisies	• déterminer l'évolution de la variabilité des temps de parcours sur liaisons choisies
Temps d'attente aux accès en conditions moyennes, en situation normale et en situation d'incident	
• mesuré sur bretelles d'accès régulières choisies en période de pointe et intermédiaire	• établir le temps de parcours total pour le corridor entier, ainsi que les variations de ce paramètre d'une zone à l'autre
Variation du rapport véhicules-kilomètres/véhicules-heures en conditions moyennes, en situation normale, et en situation d'incident	
• pour le corridor entier, à différentes heures du jour	• mesure indirecte de la vitesse globale dans le corridor
• par autoroute, par voie parallèle, à différentes heures du jour	• déterminer la variation globale de la vitesse d'un type d'infrastructure à l'autre
• par zone, à différentes heures du jour	• déterminer la variation globale de la vitesse par zone
Variation du nombre d'arrêts sur artères à régulation intégrée	
• pour l'ensemble des artères considérées, à différentes heures du jour	• déterminer l'effet des stratégies de régulation intégrée sur le nombre d'arrêts en cours de déplacement

REMARQUE : l'auteur s'est inspiré du tableau présenté par JHK & Associates/Dunn Engineering, P.C., dans leur soumission relative au projet IMIS de la FHWA/U.S. DOT.

18.3 Études d'impact des aménagements

À l'étape des études de faisabilité, il est habituel de comparer les différents systèmes et techniques de gestion d'autoroutes envisageables afin de choisir celui qui donnera le meilleur résultat dans le cas considéré. Nécessairement, le choix exercé doit se baser sur les coûts estimatifs des projets en concurrence, rapportés aux avantages respectifs que l'on espère en tirer. Mais, si éloquents que les résultats de cette analyse puissent être, il demeure qu'il s'agit somme toute d'un processus plutôt théorique.

La fonction première d'un programme d'évaluation est de déterminer empiriquement les améliorations consécutives à la mise en oeuvre du système considéré. L'évaluation du degré d'amélioration pourra être faite en fonction d'une norme particulière, différente selon que l'on considère :

a) les conditions moyennes de la circulation;
b) les conditions à l'occasion d'un incident ou d'un accident; ou
c) les conditions normales, c'est-à-dire en l'absence d'incident.

Le programme de collecte des données doit être étudié et mis en oeuvre le plus tôt possible — de préférence dès l'étape de l'étude de faisabilité — de manière à pouvoir disposer de données "antérieures' non biaisées, c'est-à-dire qui reflètent la situation courante ou normale avant que l'on ait entrepris la mise en place du système proposé, et hors perturbations de toutes sortes — travaux d'entretien, de construction, grève des transports publics, etc. Il faut aussi prendre la précaution de mettre hors service pour la durée du programme de collecte tout système de gestion partiel qui aurait pu être implanté avant la décision d'aller de l'avant avec le projet considéré. Par la suite, le système complet ayant fonctionné pendant une période suffisante, on procède à la collecte de nouvelles données, représentatives de la situation postérieure à l'entrée en service. Il suffit alors de comparer les deux jeux de données pour déterminer l'ampleur de l'amélioration apportée par ce dernier.

Dans le cas des systèmes de gestion d'autoroutes de grande envergure, un programme de collecte et d'évaluation des données plus étendu peut être nécessaire; il comporterait les quatre étapes suivantes :

Collecte de données antérieures à long terme — La collecte de ces données pourrait commencer entre 24 et 8 mois avant l'entrée en service du système. Il s'agit de programmer cette activité de façon à se mettre à l'abri de toute distorsion possible des données concernant l'un ou l'autre des éléments du corridor routier concerné (section courante d'autoroute, voie de service, échangeur, carrefour, artère parallèle) et attribuable :

— aux travaux d'aménagement ou d'implantation du système de gestion en question;
— à d'autres travaux d'entretien, de remise en état ou de construction;
— à des changements majeurs dans les horaires ou les routes des transports en commun; ou
— à des manifestations exceptionnelles (expositions, épreuves sportives, etc.).

Cela dit, il est important de recueillir des données même pendant ces périodes de perturbation car elles pourront servir à poser les bases d'une stratégie de gestion de la circulation en situations exceptionnelles du genre indiqué ci-dessus.

Collecte de données antérieures à court terme — Dans le cas d'un système de gestion d'autoroutes mettant en oeuvre un réseau de surveillance électronique, il convient de lancer, dès l'entrée en service effective de ce réseau, une campagne de collecte intensive de données devant s'interrompre avant que les systèmes de régulation et d'intervention/dépannage ne soient entièrement opérationnels. En fait, la collecte des données concernant les débits de circulation et d'autres paramètres utiles devrait faire appel au réseau de surveillance électronique plutôt qu'à un personnel d'enquête sur le terrain.

Collecte de données ultérieures à court terme — Lorsque le système de gestion d'autoroutes est devenu entièrement opérationnel et que les automobilistes ont eu le temps de s'y adapter, une nouvelle collecte intensive de données doit être lancée avant que les variations saisonnières, la croissance du trafic ou d'autres effets à long terme aient pu fausser les résultats.

Collecte de données ultérieures à long terme — Cette dernière étape doit normalement s'amorcer immédiatement après la précédente. Elle sert à documenter les effets d'incidents exceptionnels relativement rares tels que collisions en chaîne, incendies routiers, etc.

Les données comparables ainsi recueillies sont habituellement regroupées dans un même tableau ou graphique, les variations des indicateurs retenus (voir figures 18b, 18c et 18d) étant calculées dans chaque cas et mises en évidence. Certains des indicateurs d'efficacité peuvent prendre l'une ou l'autre des deux formes suivantes :

- Niveau de confiance à résultat donné — On calcule la probabilité que l'amélioration visée a été atteinte. Par exemple, on peut arriver à la conclusion qu'il est à 95 p. 100 certain que le nombre des accidents a diminué.
- Variation à niveau de confiance donné — On calcule l'écart ou la variation entre la situation avant et après pour un niveau de confiance donné. Par exemple, on dira qu'il est à 95 p. 100 assuré que le nombre des accidents a baissé de 20 p. 100.

Un grand nombre de systèmes de gestion d'autoroutes possèdent des mécanismes intégrés de contrôle suivi et d'évaluation aussi bien de leurs divers éléments pris séparément que du système dans son ensemble. Les informations ainsi recueillies pourront être utilisées par les planificateurs en transport et les ingénieurs de trafic d'autres localités pour convaincre les décideurs et cadres supérieurs intéressés de l'opportunité de mettre en oeuvre des systèmes de gestion relativement peu coûteux, de préférence aux lourds investissements à consentir pour la construction d'infrastructures routières nouvelles ou pour l'extension des réseaux de transport en commun.

En effet, les caractéristiques intrinsèques des corridors autoroutiers dans les grands centres urbains, nommément :

— les forts débits de circulation,
— les encombrements chroniques,
— la multiplicité des incidents,
— les fréquents travaux d'entretien, et
— les travaux de construction ou de remise en état,

contribuent grandement à la pénibilité des déplacements automobiles — perte de temps, irritation — au gaspillage des ressources énergétiques, à la pollution atmosphérique et, aussi, à la multiplication des accidents, autant de facteurs dont on ne connaît que trop le coût social. Une évaluation rationnelle du fonctionnement d'un système de gestion d'autoroute, fondée sur des indicateurs d'efficacité appropriés, permet de prouver la grande utilité de cette approche et, le cas échéant, de mettre en lumière les perfectionnements souhaitables. L'examen des rapports d'évaluation concernant les systèmes de gestion déjà en exploitation au Canada et aux États-Unis devrait amener tous les intéressés à reconnaître que l'implantation réussie d'un tel système est un gage d'efficacité accrue des transports routiers tant de personnes que de marchandises dans les principales agglomérations canadiennes.